物理文化与物理学史

厚宇德　著

SHIJI GAODENG JIAOYU JINGPIN DAXI

世纪高等教育精品大系

浙江科学技术出版社
西南交通大学出版社

世纪高等教育精品大系





ISBN 7-81057-893-6
定价：28.00元



物理文化与
物理学史

厚宇德 著

世纪高等教育精品大系

浙江科学技术出版社
西南交通大学出版社

内容提要

本书分物理文化和物理学史两编，以物理文化为灵魂统帅安排全书的内容与结构，在突破传统物理学史教材的撰写方法并力求更大地发挥这门课程的教育作用等方面做了大胆尝试。

在第一编中定义了物理文化，精选了几位物理学家的语录，对几位重要物理学家及其思想与贡献作了较为详细的专题研究介绍，还介绍了仔细选择的基本的物理学概念、重要的物理学思想与方法，并对物理文化若干问题作了深入探讨；在第二编中以物理学史料为依据对古代物理学史、经典物理学史和现代物理学史作了较系统论述，中间收录了作者在相关领域的若干专门研究所得出的结论和形成的观点，最后对物理学的未来给予了一定的分析判断。

相信这样的努力能够帮助读者把握物理文化、了解物理学发展的历史，感受科学精神、学习科学方法，从而对物理学、物理学家有更加深刻的认识。

本书适用于作为物理专业学生的物理学史教材或参考书，也可以作为其他专业学生的素质教育教材，还可以用作中、小学教师继续教育的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物理文化与物理学史. /厚宇德著.
—成都:西南交通大学出版社,2004.10

ISBN 7-81057-893-6

Ⅰ.物... Ⅱ.厚... Ⅲ.①物理学史—研究
Ⅳ.O4-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 065701 号

书　　名	物理文化与物理学史
作　　者	厚宇德　著
出版发行	浙江科学技术出版社 西南交通大学出版社
联系电话	(028)8760054 (0571)85176040
印　　刷	杭州余杭大华印刷厂
开　　本	787mm×1092mm 1/16
印　　张	13.5
字　　数	320 千字
印　　数	1—1100 册
版　　次	2004 年 10 月第 1 版
印　　次	2004 年 10 月第 1 次印刷
书　　号	ISBN 7-81057-893-6/O·077
定　　价	28.00 元
责任编辑	秦搾玲
封面设计	孙　菁

前　言

引导我在物理学史领域写点东西做点事的原因是个意外事件，可谓"歪打正着"。在大学读书时，我就对物理学的几个基本问题着迷，并斗胆尝试去解决它们。其中一个是关于量子力学的。20 世纪 90 年代初，我写了一编关于这个问题的一编文章，把它投给了《现代物理知识》。这编文章是先回顾历史再探讨问题的。当时该杂志主编吴水清先生给我回信，建议把这编文章写成一编物理学史类文章，而偏偏要删掉该文中叙述我个人观点的那一部分。这编文章发表于 1992 年第 4 期《现代物理知识》杂志。

在那之后，陆陆续续地在学校的学报、《物理通报》、《大学物理》、《物理》、《科学学研究》、《自然科学史研究》、《自然辩证法研究》等期刊上发表一些与物理学史有关的文章。

有些期刊要求有作者简介，其中一项是作者的主要研究方向，不写不行。考虑到自己所写的东西多是关于物理学史的，因此往往写上主要研究方向为物理学史。但在这样"简介"的时候自己心里并不舒服。因为我清楚，我写的文章，尤其早期的文章，算不上"研究"，目的也不是"研究"。

早些年尤其在北方工作时，年轻气盛，有时不顺眼也不顺耳。个别同事常常莫名其妙地就进入"失重"状态，动辄就飘飘然面对被其煽动得以纯真仰慕的眼光望着他的年轻学生，宣扬自己又填补了什么领域的什么空白。我认为将非常一般的工作作如此夸张会对学生产生很不好的影响。相反，随着我对那些物理大师们了解得越多，就越为他们不同寻常的谦虚、出乎意料的平常心以及热情奖掖后人等等的高风亮节所深深折服和感动。因此我就将这些高尚行为在教学之中向学生们予以介绍，在文章中予以充分讴歌，以期给学生们一些正确的影响，使他们清楚知道什么是真正的榜样风范。在收录本书中的关于卢瑟福、关于普朗克以及关于玻恩等人的文章中，都有大量这样的文字。这显然与以物理学史为专业研究的工作是大不相同的。

但是渐渐地也就开始尝试着写一点为了解决物理学史或科学史领域问题的文章了。

2002 年 9 月我来到中国科技大学科学史与科技考古系物理学史专业做高级访问学者，寒假期间(2003 年 1 月)才知道我准备写的这本书已被批准为浙江省高教重点建设教材之一。但在科大期间我除做高访的工作外，还自费听科学史专业硕士生的全部课程，尤其学英语用去了很多时间。2003 年 7 月回单位，又开始比较繁忙的备课教学，关于这本书一直只能是在腹稿中进一步设想其结构和内容，真正开始写作是在 2003 年暑假。

在科大的两个学期我不仅认真听课，也和那些二十几岁的青年人一样，既交作业又参加考试，并取得了优异的成绩。有一次作业(论文)还荣幸地被张秉伦教授制成胶片作为一个"范文"在课堂上予以点评。

我印象最深的还是系内的学术活动氛围，无论博导、博士还是硕士，大家那种投入的面对面的自由的学术讨论争鸣，曾深深地感染我。我也成了这一活动的积极分子。开始还担心言辞有时过于直接会产生不好的影响，没想到张先生竟然公开表扬本人"善于发现问题"。

胡化凯先生也肯定本人"具有较强的独立研究能力……且有强烈的钻研和探索精神。"

先生们的表扬更多的是鼓励，我自己则是的的确确从老先生的严谨、青年教师思想的活跃等诸多方面学到了书本知识以外的很多东西。

如果说多年以来,我还是在一点一点进步的话,与一些人的无私帮助是分不开的。

前面提到的吴水清先生,在后来的日子里,还曾帮我向黄昆先生了解核实一些宝贵的史实并赠送一些资料。虽彼此书信交往十余载而未能谋面,直到 2002 年我去北京参加一个学术会议时才第一次见到了吴先生。

东北师大物理系的刘秉正老前辈,我在该校读书时并未有机会聆听他的课,因此,他也根本不认识我。1996 年我因需要而索取其著作,书很快寄来了,先生附信鼓励说:"你在偏远的小学校仍能坚持上进,搞写作和研究,精神实堪学习。"

在高校从事物理实验工作的人一定都知道杨述武教授。他的系列实验教材一直是教育部的首选推荐教材。1984 年杨先生曾教我们 Basic 语言和力学实验,杨先生的严谨风范深深地影响着我们。1996 年我准备撰写关于杨先生的文章,征求其意见,他回信说:"我教书五十年,虽也努力工作,但在学术上无大成就,不值得向他人宣扬……但愿你的工作,胜过已往帮助过你的老师。"拜读此信,我感慨万千。

也是因索请资料,我与首都师大的申先甲先生偶有书信往来,申先生不但慷慨赠送了几本他的著作,每次请教问题也都详细认真地修书回复。

中科院自然科学史研究所的阎康年前辈、南京大学著名物理学家冯端院士也都曾百忙之中回函为本人答疑解惑。

中国科技大学的老师,除前面提过的两位先生外,方晓阳先生、吕凌峰先生、张志辉先生、柯资能先生等也都曾经给本人以良多启发。

我是一名普普通通的教师,无由报答这些学者和恩师,请允许我借此机会对他们以及那些给予我帮助,但由于编幅所限我不能一一致谢的热心人一并表示我最诚挚的谢意和祝福。

再说说这本书。

要做好物理学史的研究,我现在的理解是,既要精通物理,还要熟悉物理学的内史与外史,可以说要通文理、贯中西。

本人一直在向这一目标努力,但总觉得刚刚起步,该学的东西太多。再加上我真正撰写这本书的时间很短,因此这本书肯定有许多不完善之处。最大的问题在于,担心这种对教材体系和指导思想的改革不会为同行所理解和接受,因此在第二编物理学史部分尽量保持传统物理学史著作原貌。书中的"专题研究"部分纯为抛砖引玉之目的,希望能唤起部分同学的兴趣,并能引导他们按照物理学史研究的基本规范尝试着做一点研究工作。全书如此布局还出于一个考虑,就是对理科尤其物理专业学生而言,可以以第二编为主,适当选择加入第一编的内容;如果是文科学生的素质教育课,则可以以第一编为主而适当节选加入第二编的内容。但是由于以上的顾虑导致以物理文化为宗旨和主线的思想在第二编受到了一定限制,未能贯彻到底,这在作者看来不可谓不是一个遗憾。但事难求全,希望有机会以后再予以进一步完善。希望能听到见过此书的同仁的批评意见,我的电子信箱是:hydhmd@mail.china.com

本教材是浙江省教育厅高等教育重点教材之一,在本书的编写出版过程中得到了浙江省教育厅和浙江科学技术出版社、西南交通大学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。

厚宇德

2004 年于浙江

目　录

第一编　物理文化

第一章　物理文化…… 3
1.1　物理文化剖判 …… 3
1.2　物理文化的教育意义 …… 5
1.3　如何传授物理文化 …… 7
第二章　著名物理学家语录…… 9
2.1　布拉格语录:一位物理学家的科学观与人生观 …… 10
2.2　爱因斯坦语录:从物理学出发思考一切 …… 11
2.3　玻恩语录:一位物理学家眼里的科学与世界 …… 14
2.4　薛定谔语录:自然科学的主要价值 …… 17
第三章　著名物理学家专题介绍 …… 18
3.1　伽利略——近代科学之父…… 18
3.2　牛顿——经典物理学的缔造者…… 22
3.3　法拉第——电磁学领域的平民巨人…… 30
3.4　麦克斯韦——电磁学领域的牛顿…… 35
3.5　马克思普朗克——让世界跳跃的人…… 42
3.5.1　生平简历…… 42
3.5.2　研究工作与研究思想…… 43
3.5.3　普朗克与爱因斯坦…… 46
参考文献 …… 47
3.6　卢瑟福——原子物理的伟大奠基者…… 47
参考文献 …… 49
3.7　爱因斯坦——与牛顿比肩的物理大师…… 50
3.7.1　爱因斯坦对科学事业的巨大贡献…… 50
3.7.2　爱因斯坦的哲学思想…… 51
3.7.3　爱因斯坦的科学方法…… 52
3.8　麦克斯·玻恩——令人回味的大师 …… 54
3.8.1　生平简介…… 54
3.8.2　玻恩的研究工作大略…… 55
3.8.3　成功的启示…… 57
参考文献 …… 60
3.9　玻尔——量子力学领域的一位非凡领袖…… 60

3.9.1 生 平 …… 60
3.9.2 家境与成长 …… 60
3.9.3 学习生涯 …… 61
3.9.4 科学生涯 …… 63
3.9.5 领导国际科学研究 …… 66
3.9.6 玻尔的哲学 …… 67
3.10 W·H·布拉格 …… 69
3.10.1 W·H·布拉格的科学生涯与科学贡献 …… 69
参考文献 …… 77
3.10.2 W·H·布拉格的科学观 …… 77
参考文献 …… 85
3.10.3 W·H·布拉格——科学学的重要先驱 …… 86
参考文献 …… 93
3.11 几位著名中国物理学家 …… 93
3.11.1 吴有训 …… 93
3.11.2 严济慈 …… 94
3.11.3 赵忠尧 …… 94
3.11.4 王淦昌 …… 94
3.11.5 钱学森 …… 95
3.11.6 钱三强 …… 95
3.11.7 彭桓武 …… 96
3.11.8 黄 昆 …… 97
参考文献 …… 99
第四章 几个物理文化专题及物理基础知识简介 …… 100
4.1 什么是“物理学”——物理学概念之沿革 …… 100
4.1.1 物理学概念的西方源起 …… 100
4.1.2 中文“物理学”一词的来源 …… 100
4.1.3 关于“物理学”的一般传统认识 …… 101
4.1.4 《物理百科全书》中关于“物理学”的解释 …… 102
4.1.5 朝永振一郎关于“物理学”的见解 …… 102
4.1.6 哥本哈根学派的观点 …… 103
4.1.7 “未来我们选择怎样的物理学?”一文的相关思想 …… 103
4.1.8 赵凯华先生的观点 …… 104
4.1.9 启示 …… 104
参考文献 …… 105
4.2 物理学基本概念、思想与方法 …… 105
4.2.1 物理学基本概念 …… 106

4.2.2　重要思想 …… 112
4.2.3　物理学研究与处理问题的一般方法 …… 119
4.3　物理美学探源 …… 121
4.4　实验对理论物理学家的重要性 …… 124
4.4.1　爱因斯坦等对实验看法的表述 …… 125
4.4.2　对上述看法的深入分析 …… 125
4.4.3　结　论 …… 127
参考文献 …… 128
4.5　物理学中的想象实验 …… 128
参考文献 …… 130

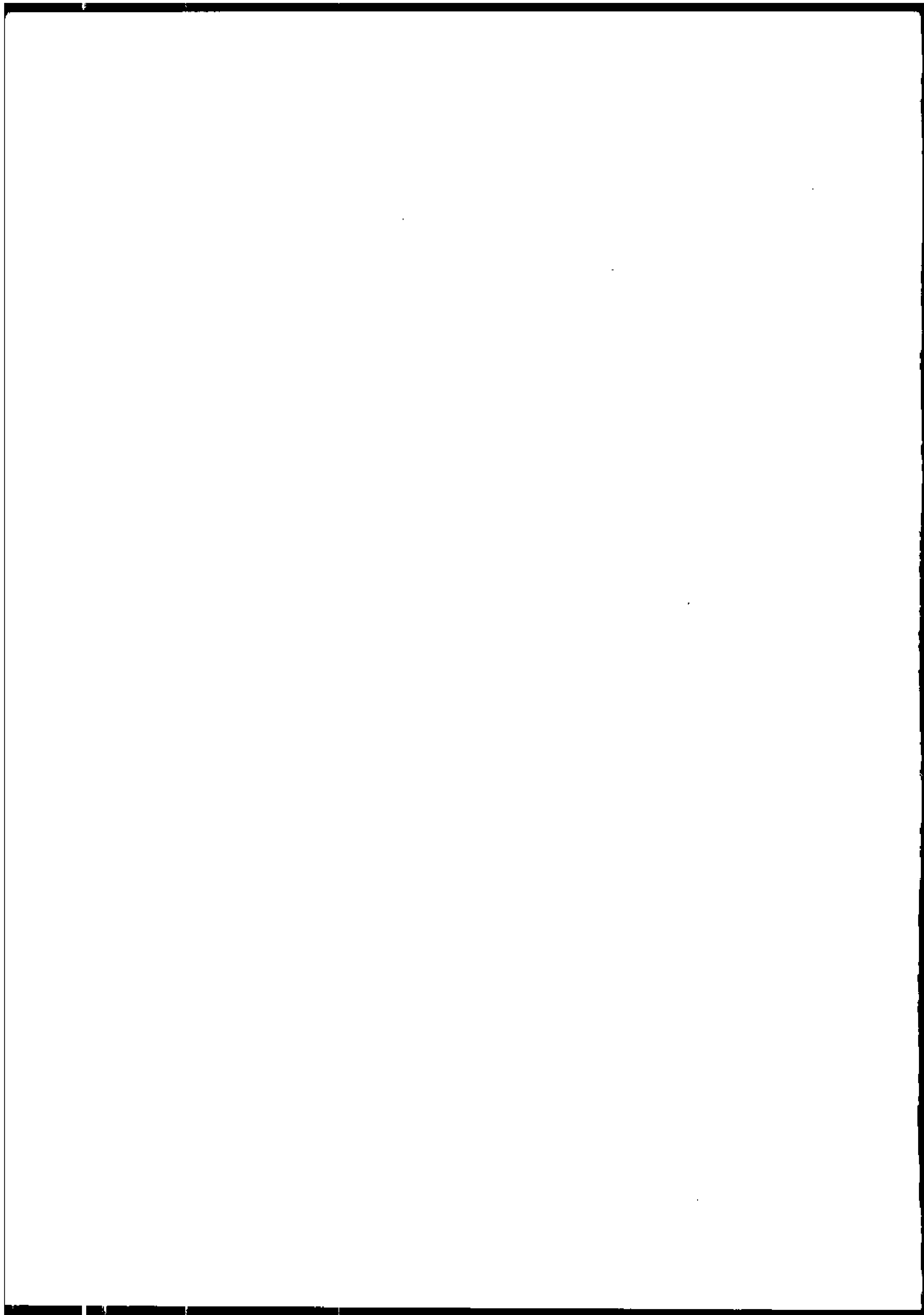
第二编　物理学简史

第五章　古代物理学简史 …… 133
5.1　中国古代物理知识及其应用举要 …… 133
5.1.1　力学知识及其应用 …… 133
5.1.2　光学知识及其应用 …… 137
5.1.3　电磁学知识 …… 138
5.1.4　郑复光的地脉说——中国古代地磁场论的最高成就 …… 139
参考文献 …… 144
5.1.5　热学知识 …… 145
5.1.6　中国古代物理学及其发展的特点 …… 147
5.2　中国古代大物理理论 …… 148
5.2.1　元气说 …… 148
5.2.2　阴阳说 …… 150
5.2.3　五行说 …… 151
5.3　历史上阻碍中国科技发展因素之透视 …… 152
5.3.1　诸家说法 …… 152
5.3.2　系统论分析 …… 155
参考文献 …… 157
5.4　关于中国古代“夏造冰”是否成功之商榷 …… 157
5.4.1　“夏造冰” …… 157
5.4.2　洪震寰先生的研究 …… 158
5.4.3　李志超教授及赵虹君对“夏造冰”的研究工作 …… 158
5.4.4　对“夏造冰”方法的进一步分析研究 …… 159
5.4.5　结　论 …… 161
参考文献 …… 161

5.5 古希腊物理学简史 …… 162
5.5.1 古希腊人关于世界万物本原的主要思想 …… 162
5.5.2 古希腊时期的力学 …… 162
第六章 经典物理学简史 …… 166
6.1 力学——物理学基本框架的建立 …… 166
6.2 热学与统计物理学——多体物理学的建立 …… 168
6.3 电磁学——场物理学的发端 …… 171
6.4 麦克斯韦“没有明确预言电磁波的存在”么? …… 173
6.4.1 历史上的定论 …… 173
6.4.2 “少数学者”说了什么 …… 174
6.4.3 麦克斯韦的电磁波思想 …… 176
参考文献 …… 179
6.5 光学——多领域交汇形成的物理学分支 …… 180
第七章 现代物理学简史 …… 182
7.1 相对论的建立 …… 182
7.1.1 相对论产生的科学背景 …… 182
7.1.2 狭义相对论的诞生 …… 183
7.1.3 广义相对论的建立 …… 186
7.2 量子力学的建立 …… 187
7.2.1 矩阵力学的建立 …… 187
7.2.2 波动力学的建立 …… 189
7.2.3 玻恩的统计解释 …… 191
7.2.4 测不准原理和互补原理的提出 …… 192
7.3 核与粒子物理的发展简史 …… 193
7.3.1 对射线研究核物理的发端 …… 193
7.3.2 原于核物理学的发展 …… 195
7.3.3 核反应——裂变与聚变 …… 197
7.3.4 新粒子的不断发现 …… 198
7.3.5 守恒定律在粒子物理中的作用 …… 201
第八章 明天的物理学 …… 205

第一编

物 理 文 化



第一章 物理文化

1.1 物理文化剖判

作为一位物理教师,我和许多同行一样有这样的经验:在物理教学过程中适当引用物理学史料能达到良好的教学效果,并实现特定的教学目的。然而在我直接从事《物理学史》及相关课程的教学时,又发现存在一些无法回避的问题:如流于一般层次上,教学容易蜕变成科普、讲故事;如追求深度,一定意义上教学又容易变为对在各专业学科中如力学、热学、光学、电磁学及"四大力学"中若干知识的某种重复。而且,在物理专业的学生看来,物理学史课程和其他课程明显不同,如果他需要,他可以比较轻松地自学物理学史,尤其对高年级学生来说更是如此。那么,教授物理学史课教师的作用应该是什么?物理学史的教学应如何定位、究竟应以什么为宗旨?更直接的问题是:物理学史这门课程的主要作用和主要教学目的究竟是什么?

鉴于作为自然科学基础和前沿的物理学在培养学生世界观、科学观和科学素质等方面的巨大作用,现在的高等教育要求许多专业的大学生(初中、高中生更不必说)都要学习不同程度的物理知识。有专家指出一个人如果"茫然不知原子的组成、进化论和宇宙起源,在现代社会中等于智力残疾。"(物理通报 1991 年 7 期)科学教育的巨大作用自然使得物理教育十分有意义。然而,20 世纪 90 年代出现的世界范围的对传统物理教育的反思十分深刻:"如果所有的学生都要学习物理,那么物理教育的主要目标应该放在大多数的未来公民的兴趣和需要上,而不是放在进一步学习物理而成为物理学家或工程师的少数精英分子身上。如果物理教育是为更多学生的全面发展服务的,那就应该重视物理学家的工作成果在社会上、技术上的应用;应该重视物理学的哲学和物理学的历史;应当重视蕴含于我们文化中的物理学方法;应当重视物理学家这个专业群体的特点,如支持、贡献社会的方式等等。"(赵凯华等译:《物理 2000》,北大出版社)

这一反思,印证了本书作者在多年教学过程中形成的一种认识:物理学史的教学一定要以贯彻宣传物理文化为主线,物理学史与物理文化必须互相交融。没有物理史料,讲物理文化是空谈;不渗透物理文化,只一味介绍物理学史料是逐本求末,画龙而不点睛,容易失去教学的方向和目标。

那么,什么是物理文化?

当初几乎是本能地觉得物理文化一词应该是最能表达作者意识中统帅物理学史教学的核心概念。但当仔细思索究竟什么是物理文化时却又觉得印象十分空洞,才知道这是一个并不太容易明确内涵的概念。直至目前关于物理文化的书籍尚未见到。但终于还是找到了两编文献:1991 年第 7 期《物理通报》摘译了对国外两位专家的访谈,并命名为《物理文化》;1998 年第 1 期《科学学研究》发表了一编名为《物理文化简论》的文章。前一编文章只是不甚严格地讨论了若干科学文化问题,并没有定义物理文化;后一编文章的作者主要是借用一些学者对一般文化的界定方法来给物理文化下定义。这种定义方法无疑是

有意义的,但仅限于此将大大限制对物理文化特殊性的认识,而每一种特殊文化的重要意义主要体现在其特殊性上。尽管如此,还是研读了大量有关文化方面的著作,了解到文化一词有近200个定义,是一个还颇有争议的概念。虽然在理论上关于文化尚无定论,但在今天的现实中,几乎在凡是人类活动的领域都有相应的文化之说:饮食文化、服饰文化、足球文化……,也正是受这种现实的影响,本书作者才萌生物理文化这个当时还不能明确定义的概念,并坚信,虽然人们对物理文化的认识还不透彻,物理文化应该是存在的、有意义的,不过是有待进一步明确的。因为正如同贝尔纳说科学是一种建制一样,物理学也是一种建制,是科学建制的子建制,有那么多人在从事物理活动或做着直接与物理相关的事情,应该有与他们相关的独特文化。

从本质上说,人类的任何文化都是在人与自然、人与人以及人与自我等诸方面相互作用的基础上形成的。相应地,文化的类别也无外乎物质型、行为型和纯精神型几个方面。物理文化也不能例外。然而有的学者如美国的菲利普·巴格比,虽承认文化包含了思想模式、情感模式和行为模式,但更强调"文化就是一个特殊种类的行为规则",明确排斥文化的物质因素,认为"人工制品所以引起人们的兴趣,只是因为含有制作和使用它的人们的行为。这里不需要把物质客体作为一个范畴包括进文化,以致使我们关于文化的概念变混。"(李天纲、陈江岗译,菲利普·巴格比著:《文化:历史的投影》,上海人民出版社,1987年11月)与他相反,马林诺夫斯基则认为"文化是一个组织严密的体系,同时它可以分成两个基本方面:器物和习惯……","器物和习惯形成了文化的两大方面——物质的和精神的。器物和习惯是不能缺一的,它们是互相形成及相互决定的。""人的物质设备:举凡器物,房屋,船只,工具以及武器,都是文化中最易明白,最易捉摸的一个方面。它们决定了文化的水准,它们决定了工作的效率。""物质文化需要一相配部分……这部分是包括着种种知识,包括着道德上,精神上及经济上的价值体系,包含着社会组织的方式,及最后,并非最次要的,包含着语言,这些我们可以总称作精神方面的文化。"([英]马林诺夫斯基著,费孝通译:《文化论》,中国民间文艺出版社,1987年2月)

在此无意深入探讨一般意义的文化概念,也无意为一般意义的文化概念下一个新的定义,只是经过长期的揣摩后认为,物理文化应该具备广义文化的基本属性,它的特殊之处在于它是以物理学工作者为中心、为创造者、为实践者而向人类社会辐射的一种文化,它集中体现为物理学家的思想及思维模式、情感模式、行为习惯、价值标准、工作方法等等。还包括以体现、表达物理思想、物理知识为目的的物质载体,或以物理探索为目的的仪器设备。物理文化绝对不能拒绝物质方面的体现形式。离开了物质基础,不仅物理学的有些思想难以表现,而且整个物理学都会成为玄学,当然也不会有我们力求反映的今天的丰富的物理文化。而且,在古代尤其在中国古代,有些物理概念物理知识虽没有明确表述,但在那时制造的器物上却有这些物理知识实实在在的明确应用。因此研究那时人们的物理认识与物理知识必须依靠作为当时唯一可靠的物理知识载体的这类器物。但是,对于文化中的物质因素,我们的确需要慎重对待。如简单地将仪器设备列为物理文化的基本要素(《物理文化简论》,《科学学研究》1998年1期)之一,就会陷入很难将物理文化与其他文化区分开来的窘境。因为任何仪器设备一方面往往都很难说其没有以某些物理原理为依据、没有体现物理原理,而另一方面任何仪器设备一般也不是除物理知识物理原理外它就再无其他内涵。没有单纯的只包含物理知识物理思想的器物。如果不对器物作

一定限定，器物工艺材料等方面的内涵就会将物理文化与其他文化混为一体。正是出于此种考虑，本书作者认为物理文化中的物质因素必须局限于以体现表达物理思想、物理知识为目的的物质载体或以探索物理知识为目的的物理仪器设备范围之内。一件器物是否属于物理文化的物质因素，不取决于这件器物本身，关键在于使用它的目的是什么。这一点至关重要。认识到这一点就能较容易地在物理文化的物质因素与一般物质器物之间设定一个界限。至于物理文化的精神因素，它就蕴涵在已有的物理知识、物理学认识和改造世界的方法之中，也存在于物理学工作者(物理学家等与物理学关系紧密的人)的精神世界，体现为世界观、信仰、价值观、思维方式及思想感情等等。至于沟通物理文化中物质因素与精神因素的行为因素，就是物理学工作者展示自身的特殊内涵特殊气质的工作、生活活动本身。

以上对物理文化的勾画，只是本书作者的一点认识，希望以本书为教材的同行在教学过程中，大胆阐释自己的看法并不吝赐教。

1.2　物理文化的教育意义

近代科学是伴随着“文艺复兴”运动的发生而诞生的。中世纪宗教思想对西方各民族的长期精神统治，激发了人们的逆反心理。罗吉尔·培根和威廉·奥卡姆等人的反叛哲学思想的出现，标志着中世纪的经院哲学已濒临末日，同时这些思想为文艺复兴、科学复兴奠定了思想基础。他们的思想与中国“四大发明”技术的输人、古希腊文明从阿拉伯世界的重返欧洲，成为促使文艺复兴运动产生的决定性力量。文艺复兴倡导的张扬、尊重人性的思想有助于人们摆正人在宇宙中的位置，建立新的人与自然的关系。而这种关系为近代科学的诞生提供了良好的契机。这一时期因为反对共同的敌人——至高无上的神性而使人文运动与新科学运动相互协作有机结合起来，产生了巨大的合力。达芬奇等人身上反映了这一时期文化的特点，他们既是人文主义大师，又是科学上的高级多面手。然而进一步的发展使二者之间相互分离并逐渐泾渭分明：以物理学为基础的科学精神竭力以客观物为尺度，理性至上，追求真实；而人文精神更加体现为以人为中心，更多地流连于理性之外的意志、情感、信仰及潜意识等领域而追求美好。以经典力学为基础的机械唯物主义的胜利使两种文化彻底分裂开来，人是机器成为机械唯物主义的一种共识。这种分裂造成了不同领域学者之间的隔阂与相互的反感。

时至20世纪上半叶，科学的力量惊人地壮大，科学的地位达到了前所未有的高度，科学的影响无可匹敌。此长彼消，人文主义则相应地势微至最低谷。当然人文主义者不会甘于这种处境。后现代主义可以看做是某种意义上人文主义对科学地位的反击思潮。他们认为科学只是人所创造的许多文化中之一种，未必是最好的，因此不应该享有特殊地位。依此思路走下去，他们否认科学与非科学的区别，主张科学应当与宗教、神话、巫术等非科学意识形态去“公平竞争”。尤其越来越多的科技的不合理应用导致的一些负面作用使这种反科学反理性的后现代主义更有市场，他们认为科学抹杀人的情感和个性，将世界变成了机械的无意义的世界，因此他们认为科学是使现代人丧失人生根基、灵魂空虚、精神沦丧的病源。以前有人批判有的唯心主义哲学家时说他们看不见月亮就不承认月亮的存在，后现代主义的一些成员超过了他们的这些前辈哲学家，今天他们一方面点着电灯，

看着电视,享受着网络的便利……充分利用科学实实在在不可否认的功用,一方面咒骂着科学,将科学与人类在发展过程中产生的错误与追求虚无缥缈或虚无缥缈的追求归于一类。

我们应该敢于正视科学的负面作用,但应该是科学承受人们的指责还是人们应该反省自己的所作所为?我们不能否认有些自然科学和技术工作者,成为了其专业的奴隶,兴趣单调丧失了作为一个文化人的大部分性情,甚至成了乏味的畸形人。中国古代就有大儒小儒之说,小儒是指不能灵活把握真正思想精华的僵化、呆板之辈。这种畸形的科技人物就相当于科技文化的小儒。而可悲的是后现代主义者们未能深入学习科学本身,没有认真深人了解科学大师们的思想,未能步人其博大精深的精神世界就以为自己看透了科学和科学家的一切。如果一个人深人地了解一下爱因斯坦、玻恩、薛定谔等大师的丰富思想,就决不会像后现代主义者那样轻易对科学和科学家们信口雌黄。物理学家和物理学工作者作为社会人与其他行业人所不同的共性是存在的,这其中有丰富的宝贵的人类文化的内涵。传授物理文化,主旨就是让更多的人们感受、了解并拥有这部分特殊的人类文化财富。拼命反对科学文化的后现代主义者们正是对这宝贵的科学文化一无所知,至少没有真正的洞察,他们对科学说三道四,完全是出于无知者的无畏。事实上,对物理学家和其他科学家有深人了解的学者对物理学家和其他科学家以及对科学都曾做出客观的积极的评价。

恩格斯说:“科学是一种在历史上起推动作用的革命的力量”,“是最高意义上的革命力量”。(《马克思恩格斯全集》第 19 卷)

人本主义心理学创始人马斯洛说:“科学是人类的创造,而不是自主的、非人类的、或者具有自身固有规律的纯粹的‘事物’。科学产生于人类的动机,它的目标是人类的目标。科学是由人类创造、更新以及发展的。它的规律、结构以及表达,不仅取决于它所发现的现实的性质,而且取决于完成这些发现的人类本性的性质。”(马斯洛著,许金声译:《动机与人格》,华夏出版社,1987 年)

科学史大师乔治·萨顿说:“……无论在什么地方存在着进步或进步的可能性,几乎都是由于科学的应用。我从来没有宣称科学比艺术、道德或宗教更为重要,但是它更为基本,因为在任何一个方向上的进步,总是从属于科学进步的这种形式或那种形式的。”“……科学家找麻烦只是为了我们的最终幸福。没有良心我们就退回到凶残的野兽的水平上去了。如果没有科学家,没有圣徒,没有艺术家,人类社会早就还原成动物社会了。没有圣徒人类会陷人罪恶之中;没有艺术家,人类会陷人丑陋之中;没有科学家,人类就会完全停顿而且退化。”(乔治·萨顿著 ,陈恒六、刘兵等译:《科学史与新人文主义》,华夏出版社,1989 年)

科学是追求真的,追求真的物理学大师们是关心人类的,是有丰富的文化修养的,他们的心灵是美好的。通过向广大年轻学生展示这种真与美,使这种真与美在他们的精神世界相互作用相互补充,从而在他们身上达到浑然一体的完善的状态,才能使之成长为真善美的统一体。这将是本书力求接近的终极目标,也应是所有积极的教育的终极目标。

20 世纪初期,在哲学的国度——德国,有人抱怨再没有了黑格尔、谢林这样的哲学大师。而有的学者,明确地对这种说法予以反驳:“人们今天抱怨说,我们的时代再也没有哲学家,这是不对的。只不过他们现在在别的系,他们就是普朗克和爱因斯坦。”(转引自朱

章才译,阿尔明·赫尔曼著:《物理学世界大国的统治者》。科学普及出版社,1992年)

许多人为中国春秋战国时期以及西方古希腊时期的灿烂文明而折服,为那有无数颗巨星交相辉映的古老天空而陶醉。可以相信,在人类历史上,20世纪由一批人类精英——物理学家们所创造的物理文化将同样会为未来的人们所由衷景仰。学习和了解物理文化有助于公正而全面地认识物理以及整个科学,有助于形成正确的科学的人生观与世界观;对物理文化有了比较明确的认识之后,在学习物理学及物理学史过程中就能够有意识地培养自己的物理文化,进而培养科学精神。这一点也十分重要,正如有学者所指出:"相比于西方近代文化,中国传统文化最大的遗憾就是科学精神的匮缺。"(刘钝:关键是传播科学精神,2003年1月3日《科学时报》)

1.3　如何传授物理文化

在《科学史与新人文主义》一书中萨顿说:"在旧人文主义者同科学家之间只有一座桥梁,那就是科学史,建造这座桥梁是我们这个时代的主要文化需要。"萨顿去世已近半个世纪了,但他70年前的话同样适用于今天的时代,对我们仍有启发:**物理文化的教育必须寓于物理学史的教学之中**。库恩说:"科学哲学没有科学史是空洞的",我们则要说:物理文化脱离物理学史是没有生命力的。只有通过物理学史的学习,才能知道物理学知识、物理学思想、物理学方法、物理学的科学精神是如何产生与发展的,只有在物理学史的大河之中,才能真正理解那些汇入这大河之中的一个个支流以及一个个物理学家的个性与贡献等等的真正含义与真正意义。当然一个不能驾驭足够物理知识的人不会真正透彻地把握物理学史的实质。总之,深入学习物理学知识,深入了解物理学的历史是理解和吸纳物理文化的最佳途径。相反抛开这一切而孤立探索物理文化,只能是缘木求鱼。著名哲学家冯友兰先生认为,科学是为了获取知识,哲学是让人提高境界。本书作者认为,**如果说学习物理主要是为了获得物理知识、研究物理主要是为了寻求未知的物理知识,那么物理文化与物理学史的教学就应该主要以提高人的境界为主要目的**,冯先生的"境界说"是个贡献。以物理文化统帅物理学史的教学,就是为了更好地在哲学以外的另一领域实现这一"境界说"。但是,冯先生还认为,主张哲学必以科学为根据乃是不懂哲学,哲学家需要的是对生活真谛的深刻领悟,并不需要很多科学知识。(李申:《中国古代哲学和自然科学》,上海人民出版社,2002年,15页)这一看法,本书作者是绝对不敢苟同的。生活是一种实践但并不是一切,科学也是一种人类实践活动,难道这一实践对提高人的境界会毫无贡献吗?而仅局限在较小范围如井底之蛙,如何能奉献出恢弘的思想和非凡的远见卓识?"事难空知",而对当空皓月,千百年来才子骚人浮想联翩,留下了许多千古绝唱,然而这对于了解月亮究竟为何物有多少裨益?可见想象不能替代实践。如果我们拒绝投身某个领域的实践,那么我们必然不会具有在该领域亲身亲历者的观感。黑格尔因为孔夫子不究自然观而否认他是哲学家那已是老话,一个现代哲学家不懂科学或对科学知之甚少,至少他做不了一个合格的科学哲学家。同样道理,对物理学知之甚少的人很难理解深层次的物理文化,当然也不可能成为优秀的物理学史家。

通过物理学史的教学来传输物理文化,对培养理科学生的人文精神来说是一种极好的途径。如果仅仅向理科学生讲授一些所谓的人文课程,学生自己必须经历将人文知识

与科学知识再融会贯通的过程,才能使之成为其素质的有机部分。而物理学史可直接传授物理学大师们亲身亲历的这种转变过程的体会与结果,通过榜样的作用,可以少走许多弯路。另一方面,以史为线索向文科学生介绍物理知识、物理文化无疑比其他任何简单方式更加吸引人更易达到目的。即使对那些以研究物理学为职业的物理学家们,也应该有意识地加强自己在历史、文化方面的修养,正如萨顿所说:"正因为科学家是一位科学家,正因为他的研究具有革命的可能性,科学家应该更努力去了解过去,也就是去了解我所定义的科学史和文明史。"(萨顿:《科学史与新人文主义》)

第二章　著名物理学家语录

物理学家是一个特殊的社会群体，他们每个人不仅在社会生活中，就是在科学研究中，也大多有各自鲜明的个性，但作为科学共同体的一员，他们仍有一定的共性。按S.M.Gruner，J.S.Langer等人的说法(《Physics Today》，1995年12期)，物理学家的共性是：

(1)在一组核心学科方面接受过高级训练。目前，这些学科有力学、电学、磁学、热力学、统计力学和量子力学等；

(2)掌握了研究物理现象所使用的定量方法和整理数据的方法；

(3)有较强的抽象能力和打破常规的勇气和精神，能超越特定研究对象的洞察力和对问题本质的把握。

文章认为最能体现物理学家与其他科学家不同的地方，不在于他们所涉及的领域，所研究的问题，而取决于他们所采用的研究方法和所寻求信息的特征。然而另一方面无可否认，物理学家的精神世界的的确确还是与其研究的对象、所受教育、成长环境息息相关，这也是产生个性的主要原因。

米歇尔·沃尔德罗普说："在物理学家的头脑中，他们就是科学界的贵族。他们从修第一门物理学课程开始就从无数的微妙和不微妙的方式中感染上了这种贵族意识：他们是牛顿、麦克斯韦、爱因斯坦和玻尔的继承者。物理学是最坚实、最纯正、最强健的科学……"(《复杂》，三联书店)

从物理学家的角度看，在人与客观世界之间，他们始终是站在人类最前沿直接同自然打交道的英雄。他们知道破解自然的奥秘不能靠欺诈、不能仅凭自己闭门造车，也没有什么神秘力量可以帮助他们。在经验事实及实验事实基础上提出理论假说，再到事实中验证理论假说的解释功能预言功能，并对理论假说予以确认或修正，一个又一个这样的循环就是物理学家工作并推动物理科学发展和进步的方式。因此他们正直、客观、实事求是，不崇拜偶像，不承认任何终极绝对的真理。与自然的沟通，结果往往是出乎意料和难以计划的，这要求物理学家必须极大地激发其自身兴趣并全身心地投人研究之中才有可能获得更多成功，因此他们往往反感外界的干涉与干扰，他们格外向往个人的自由，甚至为了追求真理宁愿享尽孤独。然而他们毕竟是人类社会的一员，在同自然界接触中在自然界的壮美面前他们获得丰富的特殊的感悟，获得的许多真谛使他们仲新由己而人对整个人类有更深刻的认识，他们更理智更明确地知道人类应该做什么、作为社会一员应该履行什么样的社会责任，他们多数关心人类，爱好和平，极富同情心。物理学家追求因果关系，追求简单和谐使得他们在某些方面思想深刻，然而回到现实生活却往往显得单纯甚至天真，因而往往会遇到许多令他们苦恼的人与事。这将使他们往往不同程度上更多地退守回自己理想的精神世界，面对芸芸众生他们有时感到自己好似鹤立鸡群，而得不到人们的真正理解与善待。就感情生活而言牛顿终生未婚，吉布斯也是如此，而爱因斯坦、薛定谔等人的感情世界也都有诸多不尽如人意处……爱因斯坦说物理学界的卓越人物，"他们大多数是相当怪癖的、沉默寡言和孤独的人……"(《爱因斯坦文集》第1卷)他们常常感到孤苦、

高处不胜寒。然而通过心灵的听诊器可以发现他们对人类对和平的热爱是强烈的，对美好的有秩序有条理世界的向往是难以抑制的。

本书作者通过学习阅读一些优秀物理学家的传记等文献资料，对他们的精神、心理等多方面曾经用很多时间予以深人探究，也写过些相关东西。本书的初始撰写计划是要对著名物理学家的思想观点予以点评。在撰写过程中发现在限定的时间内实现这一目标非本书作者现在的学养所能胜任。思索再三，决定舍弃个人曾经努力做出的分析总结与分类探索，仅以崇敬之情选录几位物理大师的思想观点，原汁原味地奉献给读者，以期给读者更多的见仁见智的品味空间而不受我画地为牢的局限。相信这样能更好地展示他们的精神世界、更好地展示物理文化之精华。只要您用心品味，一定能获得关于科学关于人生关于你所关心的其他方面的疑惑的答案，有些话语甚至会让您怦然为之心动……

对以本书为教材的同行们的建议是：这一部分是宝贵的精华，它直接展示这些物理大师们的所思所想，是深入了解物理文化的捷径。但这一部分内容也恰恰是以往物理学史著作所普遍未予重视的，因此也就成为本书与其他同类著作的主要区别之一。受编幅限制本书所选择的这部分内容毕竟有限，最好以您渊博的知识为基础，在教学中加进您熟悉的更合适的内容，并选择青年学生关心的有益于他们成长的，当然最好也是您感兴趣并有独到见解的部分予以深人点拨辅导，也可以就其中一些观点，引导同学们展开讨论并形成小论文形式的作业。这将有助于同学们深入了解物理和物理学家以及科学精神，有助于他们从本质上理解物理文化。本书作者也正是在学习相关知识并从事物理学史教学过程中，尤其在逐渐了解物理学家的过程中领悟到物理学史甚至整个物理学的教学应该站在物理文化的高度去构思去实施的思想的。

2.1 布拉格语录：一位物理学家的科学观与人生观

如果他们（指科学家）知道有一个崇高的实验，需要竭尽全身心能量去做；如果他们明白这项实验的结果可用来检验那些提出这项实验的假说，那么，他们就将负起责任……

我们必须使自己在身体、心灵和智力上适合这项工作，适合于帮助我们的邻居。因此，我们的心灵同样必须谨慎，乐于反思邪恶而不受其玷污。要训练自己喜人之所喜，寻找每个人都至少部分拥有的善意。我们将依靠这一点作为共同体的约束力……最后，我们必须崇尚学问，因为没有它，我们就不能提供我们能够提供的帮助。

成就我们的事业需要用爱唤起我们的一切努力，需要我们的所有知识——无论是从过去延续下来的，还是通过现代研究揭示的。

当我们胆敢向自然本身发问时，我们都体会到在伟大的存在面前的那种谦卑感受。

自然的有序壮丽的那种无限感，就像一件笼罩在研究者身上的崇拜者外衣，是一件没人可以轻易拒绝的礼物。不仅研究者能够收到和欣赏这份礼物，每个人都可以得到它。

一个努力通过实验理解自然界作品的人，尽管会感到自己十分软弱和笨拙，但却能得到发现丰富世界的酬报。……他所获得的不仅是对美丽和有趣的东西的丰富鉴赏，而且还获得了结交朋友的能力……

也许可以以某种传统方式在年青一代中发展履行责任的能力，但它不能很好地训练人的心智。现代科学所提供的正是一种工具知识和对可以用它们做什么的判断力。有了

这种知识和能力，他们可以为自己创造出新的工作和新的工作方法。

科学的发现在继续，没有人可以阻止它，……我们必须接受这种状态，寻求领悟怎样最大限度地利用它。

科学对于成功地从事任何事业都具有基础的重要性。

我们应记住，我们正在努力提高其地位的是科学本身而不是科学家……

科学仅仅是知识，它根本没有道德性。

他们(指科学家)的成就有一种价值，他们赖以工作的精神则有另一种价值，并且后者的价值远比前者更值得向往。可以正确地说，一些最伟大的科学家，世界从他们的生活中比从他们的发现中得到的更多……他们对真理的崇敬和追求真理的无私奉献，比他们所建立的定律有更高的价值……简言之，追求知识的精神和应用知识的方式，比知识本身更重要、更真实。

研究不是一种宗教，但它是一种宗教行动。它蕴含着对宇宙之美丽和意志的一种信仰。宇宙之美意味着它能被那些有眼睛能观看的人发现，研究的每一步进展都扩大了我们的视野。(以上语录摘自 W·H·布拉格之女所著的布拉格传，赵万里译，江西教育出版社)

2.2 爱因斯坦语录:从物理学出发思考一切

在我们之外有一个巨大的世界，它离开我们人类而独立存在，它在我们面前就像一个伟大而永恒的谜，然而至少部分地是我们的观察和思维所能及的。对这个世界的凝视深思，就像得到解放一样吸引着我们，而且我不久就注意到许多我所尊敬和钦佩的人，在专心从事这项事业中，找到了内心的自由和安宁。在向我们提供的一切可能范围里，从思想上掌握在个人之外的世界，总是作为一个最高目标而有意无意地浮现在我的心目中。

像我这种类型的人，一生中主要的东西，正是在于他所想的是什么和他是怎样想的，而不在于他所做的或者所经受的是什么。

把人们引向艺术和科学的最强烈的动机之一，是要逃避日常生活中令人厌恶的粗俗和使人绝望的沉闷，是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏。

我信仰斯宾诺沙的那个在存在事物的有秩序的和谐中显示出来的上帝，而不信仰那个同人类的命运和行为有牵累的上帝。

科学研究能破除迷信，因为它鼓励人们根据因果关系来思考和观察事物。在一切比较高级的科学工作的背后，必定有一种关于世界的合理性或者可理解性的信念，这有点像宗教的感情。

同真挚的感情结合在一起的、对经验世界中所显示出来的高超的理性的坚定信仰，这就是我的上帝概念。

感情和愿望是人类一切努力和创造背后的动力，不管呈现在我们面前的这种努力和创造外表上多么高超。

凡是彻底深信因果律的普遍作用的人，对那种由神来干预事件进程的观念，是片刻也不能容忍的……有人因此责备科学损害道德，但是这种责备是不公正的。一个人的伦理行为应当有效地建立在同情心、教育、社会联系和社会分工上；而宗教基础则是没有必要

的。

我认为宇宙宗教感应是科学研究的最强有力、最高尚的动机。

你很难在造诣较深的科学家中间找到一个没有自己的宗教感情的人。……他的宗教感情所采取的形式是对自然规律的和谐所感到的狂喜的惊奇……

我相信直觉和灵感。

想像力比知识更重要,因为知识是有限的,而想像力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想像力是科学研究中的实在因素。

相信世界在本质上是有秩序的和可认识的这一信念,是一切科学工作的基础。

规律决不会是精确的,因为我们是借助于概念来表达规律的,而即使概念会发展,在将来仍然会被证明是不充分的。

我们只要用我们的感官就可以认识宇宙……

除了我们的宇宙以外,没有别的宇宙。

整个科学不过是日常思维的一种提炼。

科学的目的,一方面是尽可能完备地理解全部感觉经验之间的关系,另一方面是通过最少个数的原始概念和原始关系的使用来达到这个目的。

我尊敬列宁,因为他是一位有完全自我牺牲精神、全心全意为实现社会正义而献身的人。……像他这种类型的人,是人类良心的维护者和再造者。

一个人的真正价值首先决定于他在什么程度上和在什么意义上从自我中解放出来。

我非常真诚地相信,一个人为人民最好的服务,是让他们去做某种提高思想境界的工作,并且由此间接地提高他们的思想境界。

社会的健康状态取决于组成它的个人的独立性,也同样取决于个人之间的密切的社会结合。

要是没有能独立思考和独立判断的有创造能力的个人,社会的向上发展就不可想象……

照亮我的道路,并且不断地给我新的勇气愉快地正视生活的理想,是善、美和真。

我的政治理想是民主主义。让每一个人都作为个人而受到尊重,而不让任何人成为崇拜的偶像。

我们的责任是要忠于我们的道德传统。这种传统使我们能够不顾那侵袭到我们头上的猛烈风暴而维持了几千年的生命。在人生的服务中,牺牲成为美德。

学校的目标应当是培养有独立行动和独立思考能力的个人,不过他们要把为社会服务看做是自己人生的最高目的。

人们应当防止向青年人鼓吹那种以习俗意义上的成功作为人生的目标。

欲望、喜爱、痛苦、恐惧等这些内在力量,支配着各个人的自我保存的本能。同时,作为社会的人,在同别人的关系中,我们被同情、骄傲、仇恨、追求权力、怜悯等等这样的感情所激动。所有这些不容易用文字描述的原始冲动,都是人类行动的原动力。

我所理解的自由是这样一种社会条件:一个人不会因为他发表了关于知识的一般和特殊问题的意见和主张而遭受危险或者严重的损害。

科学只能断言"是什么",而不能断言"应当是什么"。

关于"是什么"这类知识,并不能打开直接通向"应当是什么"的大门。人们可能有关于

“是什么”的最明晰最完备的知识，但还不能由此导出我们人类所向往的目标应当是什么。

真正的宗教已被科学知识提高了境界，而且意义也更加深远了。

要是没有“伦理教育”，人类就不会得救。

科学没有宗教就像瘸子，宗教没有科学就像瞎子。

物理学的进步使科学发现有可能用于技术和军事目的。这的确会产生巨大的危险。可是，与其说责任是在那些对科学进步有贡献的人，还不如说是在那些使用这些新发现的人———与其说在于科学家，不如说在于政治家！

现在我们面临这样一种令人震惊的事实：务实的政治家竟然成为国际主义思想的倡导者。创立国际联盟的是他们，而不是科学家。

计划经济还不就是社会主义。计划经济本身还可能伴随着对个人的完全奴役。社会主义的建成，需要解决这样一些极端困难的社会、政治问题：鉴于政治权力和经济权力的高度集中，怎样才能防止行政人员变得权力无限和傲慢自负呢？怎样能够使个人的权利得到保障，同时对于行政权力能够确保有一种民主的平衡力量呢？

一个天生自由和严谨的人固然可以被消灭，但是这样的人决不可能被奴役，或者被当作一个盲目的工具听任使唤。

有的人只看看报纸，最多也不过再读一些当代作家的书，这种人，在我看来正像一个极端近视而又不屑戴眼镜的人。他完全依从他那个时代的偏见和风尚。因为他从来看不见也听不到别的任何东西。一个人要是单凭自己来进行思考，而得不到别人的思想和经验的激发，那么即使在最好的情况下，他所想的也不会有什么价值，一定是单调无味的。

……我们要感激古代的少数作家，全靠他们，中世纪的人才能够从那种曾使生活黑暗了不只五百年的迷信和无知中摆脱出来。

没有什么还会比克服现代派的势利俗气更要紧的了。

用专业知识教育人是不够的。通过专业教育，他可以成为一种有用的机器，但是不能成为一个和谐发展的人。要使学生对价值有所理解并且产生热烈的感情，那是最基本的。他必须对美和道德上的善有鲜明的辨别力。否则，他——连同他的专业知识——就更像一只受过很好训练的狗，而不像一个和谐发展的人。为了获得与别人与集体的适当关系，他必须学习去了解人们的动机、他们的幻想和他们的疾苦。

负担过重必导致肤浅。教育应当使所提供的东西让学生作为一种宝贵的礼物来领受，而不是作为一种艰苦的任务要他去负担。

要成为羊群中的一个纯洁无瑕的分子，必须首先是一只羊。

谁要是把自己标榜为真理和知识领域里的裁判官，他就会被神的笑声所覆灭。

观察和理解的乐趣，是大自然的最优美的礼物。

我确信人的缺乏理性是许多祸害的根源……

我所理解的学术自由是，一个人有探求真理以及发表和讲授他认为正确的东西的权利。

凡是有强烈愿望想搞研究的人，一定会发现他自己所要走的道路。建议是很难有什么帮助的；只有一个人自己的榜样和对人的激励支持才能有所帮助。

一个人的兴趣爱好极其深邃，以致他同别人多少有点疏远，这也是件好事，因为，否则的话，就很难保持这种生活的乐趣。

（以上语录选自《爱因斯坦文集》第1、3卷）

2.3 玻恩语录：一位物理学家眼里的科学与世界

我曾相信，科学不仅是获得自然知识、取得更好物质生活的手段，而且是一条通往智慧、辨别理智和荒谬之路；由于大多数的邪恶行为都是建立在荒谬和无理性的思想基础之上的，所以我曾认为一个真正的科学家是不能干出卑鄙的勾当的。我所钦佩和热爱的科学家，如法朗克、爱因斯坦、卢瑟福、普朗克和冯·劳厄等人似乎坚定了我的这一信念。但是林德曼（物理学家，丘吉尔的顾问。据玻恩讲，此人专门在英国贵族上层人物中钻营并被封为勋爵，曾建议用轰炸、摧毁家园方式消除德国人的意志。）却做出了卑鄙的勾当，也为他这类人开了地狱之门，这类人敏锐、聪明，但并不渊博，也无智慧，后来成为科学界的首领，并将科学用于政治和战争。（引自陆浩等译，玻恩：《我的一生》，东方出版中心）

我相信那些如绝对确实、绝对准确、绝对真理等等的概念，都是想象出来的虚构的东西。而在任何科学领域都是通不过的，另一方面，任何几乎判定是对或错，可从它所依据的理论之立足点来断定。我觉得这种“思想上的解放”正是现代科学给予我们的最大恩惠。因为，相信一个单一真理，并相信自己是这个真理的占有者，是世界上一切罪恶的根由。（摘自陆浩等译，玻恩：《我的一生》，东方出版中心）

世界是由自我和非我，即内在世界和外间世界组成的。这两极的关系是每种宗教和每种哲学的对象。但是，每种学说赋予自我在世界中的作用却有所不同。在我看来，自我对世界图像的重要性即在于它是一个尺度，按照这个尺度，我们可以像穿成一串珍珠似的，把各种信条、哲学体系、艺术或科学所提供的世界观整理出一个次序来。

人类知识的所有探索者，目的都是要把我们从这个自我的小圈子里带领出来，从而建立起我们和其他思维生物的共同基础。……一切宗教、哲学和科学的发展，都是为了把自我扩张为“我们”这个字所代表的较广大的团体。

物理学中历次发生的革命都是认识客观世界的道路上的一些驿站，这个世界把星球大宇宙、原子小宇宙和日常事物结合成为一个没有矛盾的整体。

忙于常规测量和计算等等乏味工作的物理学家都知道，他所有这些工作都是为了一个更高的课题：自然哲学的基础。

每个科学阶段都和当时的哲学体系有着相互影响，科学给哲学体系提供观测事实，同时从哲学中接受思想方法。

我认为科学结果应该用每个有思想的人都可以理解的语言来解释。自然哲学的任务正是要做到这点。

由于应用了科学成果，社会已经失去了它的均衡状态。但是西方人并不像惯于深思默想的东方人那样，他们喜爱冒险的生活，科学就是他们从事冒险的活动之一。

我们不能阻止它，但是我们能够尽量用真正的哲学精神，即为了真理而研究真理的精神去充实它。

我们必须承认这个事实：即使在物理学中，也像在所有其他人类活动中一样，基本的信念比推理还更重要。

我和许多其他人一样，放弃了哲学，而在一个能够真正解决问题的专门领域里得到了满足。可是逐渐到了晚年的时候，又是和许多其他创造力衰退的人一样，我感到有一种总

结科学研究成果的愿望(我个人在这几十年期间的科学研究里只有小小的贡献),这就不可避免地要回到这些称之为形而上学的永恒问题上去。

物理学的主要要求是有预言能力。其基础是承认因果原则,这个原则按其最普遍的形式来说,是意味着假设自然界中存在着不变的规律。

科学家必须是实在论者,他必须承认,他的感官印象乃是来自实在外间世界的消息,而不是幻觉。

宇宙中没有一块固定的地方;一切都是在疯狂的舞蹈中乱撞和摇摆。

……科学家在科学研究上的冲动,表示人类在这万物的急旋中渴望找到某些固定的东西,安静的东西,那就是上帝、美、真理。

真理是科学家所追求的东西。他在宇宙中找不到什么静止的东西,持久的东西。……在各种现象的飞驰中,矗立着不变规律之杆。

过去,我深信洞察自然之工场乃是走向理性哲学、获得处世智慧的第一步。在我看来,发明原子弹的科学家都是极巧极有才能的人,但是并不聪明。他们把自己的发明果实无条件地交到政治家和军人的手里;这样,他们就丧失了他们道义上的纯洁性,丧失了智力的自由。(摘自玻恩:《我这一代的物理学》,侯德彭、蒋贻安译,商务印书馆)

我从来不愿意当一个专家,因而始终是半瓶醋,甚至在被认为是我自己的专业方面也是这样。……科学的哲学背景比科学的特殊成果更使我感兴趣。

我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作,发现了许多有启发性的思想,但是没有朝着更深刻的认识和理解稳步前进。然而,科学使我感觉到稳步前进,我确信,理论物理学是真正的哲学。它革新了一些基本概念,例如,关于空间和时间(相对论),关于因果性(量子理论),以及关于实体和物质(原子论)等等,而且它教给我们新的思想方法(互补性),其适用范围远远超出了物理学。

科学已经成为我们文明的一个不可缺少的和最重要的部分,而科学工作就意味着对文明的发展作出贡献。科学在我们这个技术时代,具有社会的、经济的和政治的作用,不管一个人自己的工作离技术上的应用有多么远,它总是决定人类命运的行动和决心的链条上的一个环节。

文明社会分裂为两个集团,其中一个是由传统的人道主义思想指导的,另一个则是由科学思想指导的。

我个人的经验是,很多科学家和工程师是受过良好教育的人们,他们有文学、历史和其他人文学科的某些知识,他们热爱艺术和音乐,他们甚至会绘画或演奏乐器;另一方面,受过人文学科教育的人们所表现出来的对科学的无知,甚至轻蔑,是令人惊愕的。以我自己为例,我熟悉并且欣赏许多德国和英国的文学和诗歌……,我还熟悉其他的欧洲作家,如德国、意大利、俄国以及其他国家的作家。我热爱音乐,在我年轻的时候钢琴弹得很好,完全可以参加室内的演奏……我读过并且继续在读关于历史以及我们现今社会的经济的和政治的形势方面的著作。我试图通过写文章和发表广播讲话来影响政见。我的许多同事都有这些爱好和活动——爱因斯坦就是一个很好的小提琴家;普朗克和索末菲是出色的钢琴家;海森堡和其他许多人也是如此。关于哲学,每一个现代科学家,特别是每一个理论物理学家,都深刻地意识到自己的工作是同哲学思维错综地交织在一起的,要是对哲学文献没有充分的知识,他的工作就会是无效的。在我自己的一生中,这是一个最主要的

思想，我试图向我的学生灌输这种思想，这当然不是为了使他们成为一个传统学派的成员，而是要使他们能批判这些学派的体系，从中找出缺点，并且像爱因斯坦教导我们的那样，用新的概念来克服这些缺点。因此，我认为科学家并不是和人文学科的思想割裂的。

关于这个问题的另一方面，在我看来是颇为不同的。在我碰到过纯粹人文学科教育的人当中，有非常多的人对真正的科学思想没有一点知识。

不再有任何疑问：一切物质都是不稳定的。如果这句话是不对的，那么恒星就不会照耀，太阳就不会发出热和光，地球上就不会有生命。稳定性和生命是不相容的。因此生命必然是一种危险的冒险，它的结局可能是快乐的，也可能是不幸的。今天的问题是，怎样才能把人类的最大的冒险引向欢乐的结局。

今天，害怕已经产生了一种不稳定的和平状态（指现代大国之间战争的毁灭性结果使超级大国做出的暂时对大战的放弃），下一个目标必须是借助于加强伦理原则来巩固这种和平。只有伦理原则才能保证人们的和平共处。……只有当在国际范围内使不信任代之以了解，妒忌代之以帮助的愿望，恨代之以爱，我们才能生存下去。

我认为，科学家参与政治和管理是有益的，因为他们比受过法律和经典文学著作训练的人较少教条气味，轻易接受辩论。

我们必须学会顺从；我们必须实行谅解、容忍和助人的意愿，而且我们必须抛弃武力威胁和运用武力。否则文明人的末日就临近了。

我相信伯特兰·罗素是正确的：我们只能在大家活和谁也不活之间做出选择。

真正的科学是富于哲理性的；尤其是物理学，它不仅是走向技术的第一步，而且是通向人类思想的最深层的途径。

奥本海默和泰勒这两个人，以及费米和其参加这项工作的人（指原子弹、氢弹的研究者），包括某些俄国物理学家，在所有这些事件（指原子弹、氢弹的爆炸）远未发生，纯洁的科学仍然存在的时代，曾是我在戈丁根的合作者。有这样聪明的和有本领的学生是令人满意的，但是我希望他们少表现出一些聪明，而多表现出一些智慧。我感到，如果他们从我这儿学到的只是研究方法而没有别的东西，那我就该受责备。现在他们的聪明已经使世界突然陷人了绝境。

它（指宇宙航行）是大国之间竞争的标志，冷战的武器，民族虚荣心的象征，力量的示威。……因为它直接被用于备战，这是一种危险的游戏。……谁能向我们保证，在这种比赛中获胜的一方不会情不自禁地疯狂起来，相信自己拥有绝对优势，而且不会设法利用这个时机以赢得对地球的主宰呢？只要这些宇宙航行的计划仍然同那种民族伟大和民族才能的概念密切联系在一起，只要一般公众还被它们在科学上的实用上的前景所蒙蔽，我就不能从其中发现任何福音，不管我如何钦佩其成就。

没有一种科学是同生活绝对脱离的。即使是最沉着的科学家同样也是一个人；他希望是正确的，希望看到他的直觉被证实；他希望成名，希望成为一个有成就的人。这样一些希望，正像对知识的渴望一样，是他工作的动机。

希望还是有的；但是这种希望只有在我们不顾一切、全力以赴投入与这场反对我们时代的疾病的斗争中去的条件下，才会实现。

（以上摘自李宝恒译，玻恩：《我的一生和我的观点》，商务印书馆）

科学和艺术并不像它们表面看来的那样不同。真和美的领域里的规律，是由那些建

立不朽功绩的大师们安排下来的。

(摘自侯德彭译,玻恩:《关于因果和机遇的自然哲学》,商务印书馆)

2.4　薛定谔语录:自然科学的主要价值

真正的科学家宁可容忍无知,也不靠猜测填补知识的空白。

坚定不移地面对一个未知事物,而且将它作为进一步探索的促进因素和路标,在科学家心中是自然而然的和必备的气质。

现在你可能会问,而且你一定会问我:那么你认为自然科学的价值是什么? 我会回答:它的影响范围、目标和价值与人类知识的其他分支是同等重要的。不仅如此,只有针对由它们组成的统一整体,而非某一个单独的分支,讨论它的范围或价值才会有意义。

我生于这样一个处境中——不知道自己从何而来,又去往何方,也不清楚我是谁。这是我的情形,也是你的,你们每一位都如此。每一个都是这样的处境,并且永远都将如此。这一现实不能给我任何答案。我们热切地想知道自己从哪里来到何处去,但唯一可观察的只有身处的这个环境。这就是为什么我们如此急切地竭尽全力去寻求答案。这就是科学、学问和知识,这就是人类所有精神追求的真正源泉。对我们所置身的时空环境,我们总是尽可能想知道更多。当努力寻找答案时,我们乐在其中,并且发现它引人入胜……

一群专家在一个狭窄的领域所取得的孤立的知识,其本身是没有任何价值的,只有当它与其他所有的知识综合起来,并且有助于整个综合知识体回答"我们是谁?"这个问题时,它才真正具有价值。

(摘自颜锋译,薛定谔著:《自然与古希腊》,上海科学技术出版社)

第三章　著名物理学家及其科学贡献专题研究介绍

不错，早期的科学包括物理学的萌芽出自人类直接的生产生活本身，那时没有专职科学家、物理学家。然而，对近现代物理学做出直接贡献的主要是物理学家这一特殊社会群体。他们成为近现代物理学历史的主要缔造者。在一定意义上说，物理学史，就是他们塑造的也是以他们为主角的历史。如果在物理学史著作中，像人们曾经做过的那样仅用寥寥数语介绍某某、某年生、某国人、做过某某贡献，则很难让读者感受到这个物理学家的生命力及他作为有血有肉的一个人所应具备的一切，读者只是认识了一个已经符号化的“物理学家”而已。因而这种介绍缺乏感染力，达不到良好的教育目的。下面是关于几个著名物理学家的文章(多为本书作者所写，也选择了几编其他学者的大作，在此对这几位学者表示感谢)，希望同学们通过阅读能够感受到他们作为一个人、作为一个物理学家的丰富的活生生的工作思想等更多的更深人的方方面面。建议以本书为教材的同行不要为本教材下面选择的内容所限，可以介绍您有所研究的其他物理学家的简历、思想与贡献等等。您还可以将关于某个物理学家的文章放在后面第二编“物理学史”中介绍其较大贡献的相应部分进行介绍。

3.1　伽利略——近代科学之父

伽利莱·伽利略(Galileo Galilei 1564—1642)1564 年 2 月 15 日出生于意大利的比萨城。在父亲的影响下，他从小对诗歌、音乐和古典文学产生了浓厚兴趣。1581 年 11 月人比萨大学学医，后来被欧几里德及阿基米德著作所吸引，转而学习研究数学和物理学。1585 年 5 月从比萨大学毕业，未获得学位。

1589 年 11 月，26 岁的伽利略受聘于比萨大学，成为一位地位比较低下的数学教师。在此期间，他以不屈不挠的独创精神，向亚里士多德的错误的运动理论提出了挑战，因此不为比萨大学所容，而被迫辞去讲座的职务。1592 年到帕杜亚大学任教，1605 年至 1608 年，他发现物体下落的速度与时间成正比以及抛射物体的抛物线规律。在帕杜亚大学他还制成了高倍望远镜，借助它进行天文观察。伽利略发现银河系是由无数星体构成、太阳上有黑子、月球表面有深谷以及木星的卫星等现象，从而使他对哥白尼学说坚信不移。他在《星界信使》一书中写道：“绝对有必要得出这样的结论：根据毕达哥拉斯和哥白尼的假说，金星绕太阳旋转如同其他行星绕太阳旋转一样。”1613 年发表了名为《太阳的黑子》的文章。1615 年在《关于用圣经解释科学事物问题》文章中提出：“并非圣经的每一句格言，都像任一自然作用那样有严格的标准”，并且明确表示不能把圣经当成科学教科书。

在支持哥白尼的布鲁诺被迫害后，伽利略并未停止科学研究。他撰写了《关于托勒密与哥白尼两个世界体系的对话》。这部有划时代意义的著作出版于 1632 年。在这部巨著中，伽利略令人信服地从理论上驳斥了亚里士多德和托勒密的地心说，论证了哥白尼的日

心说的正确性。在这场论战中,为了反击旧理论维护者的诘难,伽利略提出后人以他的名字命名的力学相对性原理。

哥白尼学说的反对者认为:如果地球在运动,那么地面上的一切自由落体的下落路线将不会是竖直的,而应该向地球运动方向的相反方向偏离,因为当物体下落的那一瞬间地球离开了原来的位置。在当时,这种说法是很有迷惑作用的。当时的很多人相信,如果地球真的由西向东转动,那么停在空中的云应该飞快地向西运动。于是,如何解释落体的竖直轨迹,就成为决定胜负的关键。

为了回答对哥白尼学说的非难,伽利略在《关于托勒密与哥白尼两个世界体系的对话》一书中,借萨尔维阿蒂之口,对地球的自然运动不会破坏地球上的自然秩序给予了深刻的论述,形象而自然地说明了相对性原理思想:"……把你和一些朋友关在一条大船甲板下的主舱里,让你们带着几只苍蝇、蝴蝶和其他小飞虫,舱内还可以放一只大碗,其中有几条鱼,然后再悬挂一个水瓶,让水一滴一滴地滴到下面的宽口罐里。""船停着不动时,你留神观察小虫都以匀速向舱内各方向飞行,鱼向各个方向随便游动,水滴滴进下面的罐中,你把任何东西扔向你的朋友时,只要距离相等,向这一方向不必比向另一方向用更多的力。你双脚齐跳,无论向哪个方向跳过的距离都会是相同的。当你仔细地观察了这些事情之后,再使船以任何速度前进,只要运动是匀速的,而且也不忽左忽右地摆动,你将发现所有上述现象丝毫没有变化,你也无法从其中任何一个现象来确定船是运动还是停着。""……水滴将像先前一样,滴进下面的罐子,一滴也不会偏向船尾,虽然水滴在空中时,船已行驶了一段距离。"

在此基础上伽利略指出就像大船里的现象一样,只凭落体的垂直下落路线是不足以说明地球是不动的,一切证明地球不动的实验都是毫无价值的。伽利略又进一步提出了一个带有原理性的结论:在船中所做的任何力学实验,都不能判断出船是静止还是匀速前进着。借助现在的物理概念来说,就是在所有的惯性系中,物体将遵从相同的力学规律。这一原理把人类对时空的认识向前推进了一步,它实际上是否定了惯性系中的绝对空间概念,成为建立相对论的一个重要起点。在狭义相对论中,爱因斯坦把该原理的适用范围拓展到了光电等所有物理现象。

《关于两个世界体系的对话》问世,击中了为天主教认同的托勒密学说的要害,伽利略因此而被送交宗教裁判所接受审判。1633 年,69 岁高龄的伽利略被押送到罗马,在两个多月的审讯中,他据理力争,毫不妥协。最后被移交特别法庭,生命垂危的伽利略被迫违心地在法庭准备好的"认罪书"上签了字。伽利略回到了家乡,在图书资料被抄走、不准与外界往来的艰难环境下,在女儿也病逝的悲痛之中,他继续致力于科学研究。于 1636 年又完成了《关于两门新科学对话》的撰写。在视力已经严重衰退的情况下,他仍然锲而不舍地进行宇宙的探索,研究出以星位确定经度的方法。在双目失明之后,他还坚持研究物理学问题,这些成果被他的两个学生整理出来之后,作为《对话》的续编出版。

伽利略于 1642 年 1 月 8 日逝世,终年七十八岁。在他去世 337 年之后的 1979 年 11 月 10 日,在科学取得辉煌成就的时代,罗马教皇不得不在公共集会场合承认对伽利略的审判是不公正的。

伽利略的主要贡献在经典力学领域。在力学中,他的成就既涉及静力学,又深入到动力学。在静力学方面,他研究过物体的重心与平衡;研究过船体放大的几何比例和材料的

强度问题;他利用阿基米德的浮力定律制造了流体静力学天平;他还通过实验证明空气有重量等等。但是他的这些成就远不如他在动力学方面的工作更为重要、更富有创造性。伽利略在动力学方面的主要成就是,发现了摆的等时性,研究了自由落体和抛物体的运动规律,为牛顿的工作奠定了基础。但总的看来,伽利略的成功除和他的科学方法有关外还与他的一种观点的转变密切相关。那就是他在一定程度上放弃了此前以及其同代人所致力于对自然现象的原因的探究,转而寻求对自然现象的数学描述。现在看来这在科学发展的一定阶段是聪明、明智的选择。历史证明在条件不成熟时,只做当下能做的而不致力于一蹴而就是符合科学发展规律的。牛顿对万有引力的研究总体上也继承了伽利略的这一思想。

相传伽利略在十八岁那年发现了摆的等时性。那时他正在比萨大学学习,课余时间常去教堂观赏那里的壁画与雕刻。据说有一天黄昏,他看见一个司事(教堂里的杂役)在点燃一盏吊灯上的蜡烛时,使这盏吊灯摆动起来。怀有巨大好奇心和探索精神的伽利略,立即注意观察这盏吊灯的运动。他对照自己脉搏的跳动测量吊灯摇动一个来回所需要的时间,他发现,尽管吊灯摆动的幅度在不断减少,但是每摆动一个周期所需要的时间大致相等。为了证实这一结果,他立即反复地进行实验。经测量证明,摆动确实具有等时性,他还发现摆的长度与摆动周期之间有正比关系。利用这一发现,伽利略制造了一架脉搏仪,用以测量病人的脉搏。1602 年,他在给朋友的信中提到他已使用这种仪器。

对自由落体的研究是伽利略最富有创造性的成就。在伽利略时代,关于物体的运动多以亚里士多德的观点为权威。亚里士多德认为,物体运动的快慢有两个原因:①运动所通过的介质不同(如通过水或土或空气);②如果运动的其他条件相同的话,运动物体自身轻或重的程度不同。根据这些观点,在空气中轻重不同的物体从同一高度落下时,"有较大动势的物体通过同一距离的速度也较大,并且速度的比等于这些物体重(质)量的比。"伽利略认真地研究了这些看法,他认为,亚里士多德的这些观点是错误的。按照这些观点,如果一个物体是另一物体量(重量)的十倍,那么前者的下落速度将是后一个的十倍,这是很难令人相信的。为了进一步反驳亚里士多德的观点,他做出了如下推论:伽利略问道,假如我们把这两个物体拴在一起,让它在同样的条件下作自由下落,那么它的速度如何呢?显然,原来较轻的那个物体将会延缓较重物体的下落速度,所以这个联合体比原先较重的物体落得更慢(速度更小)。这样一来,就与亚里士多德的观点产生了矛盾。因为这个联合体比原先较重的物体要重,它应该以更大的速度下落才能符合速度与重量成正比的推断。通过分析相同比重的物体在同一介质中下落的种种情况,以及介质密度对物体下落的影响,伽利略得出了这样两个结论:一是有相同比重的大物体与小物体在空气中以相同的速度运动(自由下落);二是在一种完全没有阻力的介质中(真空中)所有的物体以同一速度作自由下落运动。

为了证实这两个结论,相传伽利略曾经在比萨斜塔上做过如下实验:他把一只一磅重和一只十磅重的铅球带到塔顶,让它们同时从同一高度落下,结果同时到达地面。据说这个实验曾使在场的那些信奉亚里士多德观点的人瞠目结舌。这个故事最早出自伽利略的学生维维安尼(Viviani)在 1654 年出版的《伽利略传》一书,历史上是否有其事还是有争议的。因为伽利略虽然在他的早期著作中数次提到塔楼的实验,但是没有关于这一实验的详细叙述和原始记录;况且在当时,还没有适当的计时工具足以准确地判断出两只铅球是

否同时落地。不过历史上确有其事的是荷兰的工程师斯台文(S. Stevin ,1548—1620)在1586年出版的一本论力学的著作中谈到他曾做过一个反对亚里士多德观点的实验,从30英尺高度同时让两只铅球自由下落,一只是另一只的十倍重,它们到达地面上时落到木板上所发出的清晰响声听来好像是一个声音。

通过对落体运动的观察和研究,伽利略认识到落体的速度是逐渐增大的,但是这种增加究竟依照什么规律来进行,速度的增加有没有限度等问题却需要通过定量考察来回答。伽利略研究了钟摆和斜面上物体的运动,这两种运动和自由落体一样都是在引力的作用下发生,因而有相同的性质。通过这种研究可以为发现落体运动的规律开辟道路。大约在1609年伽利略进行了科学史上那个十分著名的斜面实验。他用一块长约6米、宽约4厘米、厚约25~30厘米的木板造成一个斜面,在上面刻上一条宽约1厘米的槽,将槽面磨得十分光滑,记下每一单位时间内小球滚过的距离。通过上百次的反复实验,伽利略推算出小球以匀加速运动沿斜面滚下,即它的速度与时间成比例地增加,而它下落的距离与时间的平方成比例地增加,这就是自由落体定律。这个定律告诉我们,在忽略摩擦力的情况下,物体沿着有同一高度,不同倾斜度的斜面到达底端时所需要的时间相同,它们的末速度相同;因此从同一高度下落的物体,不管它们的重量是否相同,必将同时落到地上。

在发现落体定律的基础上,伽利略进一步分析了钟摆的运动。他指出,从同一高度沿不同弧线摆动的摆锤在到达最低点时获得的速度是相同的。这一速度使摆锤离开最低点继续向另一侧的方向摆动;在忽略摩擦的情况下,它能升高到与开始摆动时大致相等的高度。与钟摆的运动相似,沿一斜面滚下的小球在到达斜面底端时所获得的速度同样可以使它沿另一斜面升到与开始下落时大致相同的高度。如果把第二个斜面的坡度减小,那么物体在升到原来的高度之前走过的距离变长,假如把第二个斜面放平,并且使这一平面可以无限伸展,那么物体为了升到原来的高度,沿这一斜面无止境地运动下去,并且保持它在到达第一个斜面底端时所获得的速度一直做匀速直线运动。这一运动就是我们现在所说的惯性运动。

惯性运动的发现证明了物体不仅有保持其静止状态不变的特性,而且有保持其匀速直线运动不改变的特性;物体维持其原有的运动状态(不论这一状态为静止或是做匀速直线运动)并不需要外力,外力是改变其原有运动状态的原因。这些推论实际上包含了牛顿第一定律和第二定律的内容,但是伽利略并没有把这些内容总结概括成为普遍的自然规律。

对抛物体运动规律的研究是伽利略对经典力学的又一贡献。在伽利略之前,工程师们通过实践已经认识到抛物体沿一条曲线轨道运动;在抛射仰角相同的条件下,抛出的初速度越大,物体的射程越远;在抛射初速度相同的条件下,抛射仰角为45°时,射程最远。但是他们只凭经验归纳出这些结论,不能给以数学上的严格证明。伽利略用几何学的方法证明了,一个平抛的物体可以分解为两种运动,一种是水平方向上的匀速直线运动,它使物体始终保持这一运动不变;另一种是在引力作用下的自由下落运动,这一运动使物体在这个方向上的速度与时间成正比地增加着。这两种运动同时存在于一个物体上,彼此并不互相干扰和互相妨碍,而是合成为一种运动,它使物体沿一抛物线前进,最后落到地面上。用同样的方法,伽利略证明了为什么在仰角为45°时,抛物体的射程最远。

伽利略在力学方面的这些成就,集中地反映在《关于力学和位置运动的两种新科学的

对话与数学证明》一书中。他自己认为，这本书是他一生中最有价值的著作。该书是在秘密状态下写成，并在 1638 年首先在荷兰出版。这本书的出版标志着经典力学作为一门独立的科学诞生了，因为它为经典力学的两个主要定律——运动第一定律和第二定律奠定了基础。拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736—1813)在评价伽利略的贡献时说过："动力学全然是由于近代人的工作才成为一门科学的，伽利略奠定了它的基础。在伽利略以前，哲学家们只是在平衡状态下考察作用在物体上的力，虽然他们也曾含糊地把落体运动和抛射体的曲线运动归因于不变的力的作用，然而还没有一个人成功地确定这些现象的法则，伽利略迈出了重要的一步，因而为推动力学成为一门科学开辟了新的、无限广阔的道路。"

3.2 牛顿——经典物理学的缔造者

伊萨克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)，1642 年 12 月出生在林肯郡伍尔索普的村庄中，是一个十足的农家孩子。据说牛顿开始上学时，学习成绩并不十分好，总是喜欢玩弄一些小机械，制造水钟和风车，表现出对机械发明的明显兴趣。1661 年他考入剑桥大学三一学院学习，由于经济困难只好靠做杂役来维持生活。在此期间，他读了许多物理和数学方面的书，其中有开普勒的光学、欧几里德和笛卡尔的几何学。1663 年，三一学院创办了自然科学讲座，第一个主持讲座的是博学多才的著名学者巴罗教授，是他把牛顿引向自然科学那些待开发的园地。

1665 年，牛顿获得了学士学位。这一年因为伦敦流行瘟疫，剑桥学生纷纷离开学校，牛顿也回到家乡，整整呆了两年。就在这两年间牛顿在科学研究上获得了许多成就。他用归纳法发现了二项式定理；用三棱镜把日光分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色，发现了光的颜色特性；从想解决不规则面积和体积的求法，产生了各种量的连续变化的观念，发明了一种新的计算方法即微积分。另外，在这个时期他也确立了运动第一、第二定律和引力定律的基本思想。

1668 年，26 岁的牛顿回到剑桥大学，被选定继承巴罗的主讲工作，任数学教授。同年他和巴罗合作完成了《光学和几何学讲义》的撰写，在这本讲义的序言里，巴罗曾给予牛顿的工作以很高的评价。同年，牛顿发明了反射望远镜。1672 年被选为英国皇家学会会员，同年他撰写了光的分析的实验报告，并发表了《光和颜色的新理论》的论文。1675 年做了有名的"牛顿环"实验，并找出一条关于圈的颜色和膜的厚薄关系的数学公式。

1684 年，牛顿在挚友哈雷的劝说下，同意出版自己的著作《自然哲学的数学原理》，并把原稿交给皇家学会，但由于版费不足，无法付印。最后，在哈雷的资助下这一巨著才得以出版，这已经到了 1687 年。《自然哲学的数学原理》是牛顿研究工作的结晶，也是物理学家之间友谊的结晶。

1689 年，牛顿担任了造币厂厂长和下院议员，1703 年担任了皇家学会会长职务。晚年，他除了出版了一部《光学》著作外，科学研究方面无大进展。1705 年被封为爵士，终身未婚，1727 年 3 月 20 日逝世于伦敦，遗体安葬在英国国家公墓。

爱因斯坦在为纪念牛顿逝世二百周年撰写的《牛顿力学及其对理论物理学发展的影响》文章中，是这样评价牛顿的："正好在二百年前牛顿闭上了他的眼睛。我们觉得有必要在这样的时刻来纪念这位杰出的天才，在他以前和以后，都还没有人能像他那样地决定着

西方的思想、研究和实践的方向。""他不仅作为某些关键性方法的发明者来说是杰出的，而且他在善于运用他那时的经验材料上也是独特的，同时他还在数学和物理学的详细证明方法上有惊人的创造才能。""牛顿的成就的重要性，并不限于为实际的力学科学创造了一个可用的和逻辑上令人满意的基础，而且直到 19 世纪末，它一直是理论物理学领域中每个工作者的纲领。"在牛顿的墓志上铭刻着："他那几乎神一般的思维力，最先说明了行星的运动和图像，彗星的轨道和大海的潮汐。"

《自然哲学的数学原理》是牛顿的代表作，是部具有划时代意义的经典著作，它的出版标志着经典力学体系的形成。它由一个序言和二大部分组成：第一部分包括定义、注释和运动的基本定理和定律；第二部分共有三编，包括引力研究、介质对物体运动的影响和论宇宙系统。

在序言中，牛顿制定了一个用力学解释所有物理现象的纲领，他写道："我把这部著作称为自然哲学的数学原理，因为哲学的全部任务看来就在于从各种运动现象来研究各种自然力，而后用这些力去论证其他现象。""我希望能用同样的推理方法从力学原理中推导出自然界的其他许多现象；因为有许多理由使我猜想，这些现象都是和某些力相联系着的，而由于这些力的作用，物体的各个粒子通过某种还不知道的原因，或者互相接近而以有规则的形状彼此附着在一起，或者互相排斥而分离。正由于人们还不知道这些力是什么，所以直到现在哲学家对自然界的探讨都以失败而告终。但是，我希望本书所奠定的原理将对这种或某些更正确的哲学方法提供一些线索。"

在第一部分中，有八个定义、四个注释、六个推论和三个定律。其中定义有：质量："物质的量是用它的密度和体积一起来量度的"；动量："运动的量是用它的速度和质量一起来量度的"；外力："外加力是一种为了改变一个物体的静止或匀速直线运动状态而加于其上的作用力"等。其中定律有："定律 1：每个物体都有继续保持其静止或沿一直线作匀速运动状态的性质，除非有力加于其上迫使它改变这种状态"；"定律 2：运动的改变和所加的动力成正比，并且发生在所加的力的那个直线上"；"定律 3：每一个作用总是有一个相等的反作用和它相对抗；或者说，两物体彼此之间的相互作用永远相等，并且各自指向其对方。"

在注释中，牛顿赋予了时间、空间、运动以绝对意义。时间的绝对意义是："绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着，而且由于其本性，在均匀地、与任何其他外界事物无关地流逝着，也可以把它称为'延续性'"；空间的绝对意义是："绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。"；运动的绝对意义是："绝对运动是一个物体从某一绝对的处所向另一绝对处所的移动。"牛顿还在这里用"水桶实验"来说明什么是绝对运动。"把绝对运动和相对运动区别开来的一些效应，是圆周运动中出现的那些离开转轴的力。""如果把一个桶吊在一根长绳上，把桶旋转多次而使绳扭紧，然后桶中盛满水，并先使水与桶一道静止不动，紧接着在另一力的突然作用下，使水桶作与前相反的旋转运动；因而当长绳松释时，水桶将继续保持这种运动若干时间，而水面最初是与水桶开始旋转以前一样是平的；但此后桶逐渐把它的运动传递给水，使之随着旋转起来，并且逐渐离开中心而向桶的边缘升起，形成一个凹面（我自己曾作过的实验）；当运动变得愈来愈快时，水就升得愈来愈高，一直到最后水与水桶一道旋转而使水在桶中处于相对静止的状态为止。水的这种上升的现象，表明它企图从转轴脱离出去；在这里我们可以看到直接

与相对运动相反的水的真正绝对的旋转运动,并且可以用这种办法来量度这种运动。最初,当水与桶壁的相对运动最大时,这种相对运动并没有使水企图离开转轴;水没有显示出任何倾向要趋近桶的周围并在其边缘上升的趋势,而保持其平的水面,所以这时真正的旋转运动尚未开始。但是后来当水的相对运动减小,水就因此趋向桶的边缘而在那里上升,这证明它是在努力从转轴脱离出去;这种努力说明水的真正的旋转运动在不断增大,一直到水在桶内处于相对静止时达到其最大数值。"

六个推论中,其中推论1和2,讲的是力的合成与分解以及运动迭加原理;推论3和4,说明了动量守恒定律;推论5和6,讲的是运动的相对性原理。

第二部分共有三编。第一编共十四章,主要是研究引力的。其中有:根据开普勒第三定律和向心加速度公式,得出了引力与距离的平方反比关系;根据物体所受到的向心的平方反比引力,而描绘出物体作圆锥曲线——椭圆、抛物线和双曲线的运动轨迹;证明了球体内质点所受的引力作用力为零和球体对体外质点的作用力就像球壳的全部质量集中在球心一样。第二编共八章,主要是讨论介质对物体运动的影响。其中有:物体受与速度或加速度平方成比例的阻力作用时,物体的运动情况;摆在介质中的阻尼运动情况以及流体静力学等问题。第三编的总题目是"论宇宙体系",其中讨论了海潮、岁差和宇宙系统等问题。

在第三编中,牛顿给出了"哲学中的推理规则"。

规则1　除那些真实而已足够说明其现象者外,不必去寻求自然界事物的其他原因;

规则2　对于自然界中同一类结果,必须尽可能归之于同一种原因;

规则3　物体的属性,凡既不能增强也不能减弱者,又为我们实验所能及的范围内的一切物体具有者,就应视为所有物体的普遍属性;

规则4　在实验哲学中,我们必须把那些从各种现象中运用一般归纳而导出的命题看做是完全正确的,或者是非常接近于正确的;虽然可以想象出任何与之相反的假说,但是没有出现其他足以使之更为正确或者出现例外以前,仍然应当给予如此的对待。

牛顿之所以能在历史发展的关键时期,集大成而建立了力学体系,是与他既善于继承前人的科学成就和思想,又勇于独立创新的精神分不开的。

他继承并发展了唯物的自然观。

首先他确信自然界是真实的、客观的,是由各种实在的粒子所组成的。他在《原理》中写道:"整个物体的广延性、坚硬性、不可入性、能动性和惯性,来源于其各个部分的广延性、坚硬性、不可入性、能动性和惯性;因此,我们可以下结论说,一切物体的最小微粒也具有广延性、坚硬性、不可入性、能动性,并且赋有其固有的惯性,这是整个哲学的基础"。对自然界的物质性的看法,还反映在质量、力的定义之中,以及把时间、空间和运动看做是真实的、客观的存在。牛顿还把物体间的力的作用,想象是由一种特殊的物质——气精引起的。《原理》的总释里写道:"现在我们不妨再谈一点关于能渗透并隐藏在一切粗大物体之中的某种异常微细的气精。由于这种气精的力和作用,物体中各微粒距离较近时能互相吸引,彼此接触时能互相凝聚;带电体施其作用于较远的距离,既能吸引也能排斥其周围的微粒;由于它,光才被发射、反射、折射、弯曲,并能使物体发热;而一切感觉的被激发,动物四肢遵从意志的命令而运动,也就是由于这种气精的振动沿着动物神经的固体纤维,从外部感官传递到大脑并从大脑共同传递到肌肉的缘故。"

其次他相信自然界的结构是简单的、和谐的，各种运动是有规律的，并且认为这些规律应该建立在观察和实验的基础上。他在《原理》中认为："自然哲学的目的在于发现自然界的结构和作用，并且尽可能把它们归结为一些普遍的法则和一般的定律——用观察和实验来建立这些法则，从而导出事物的原因和结果"，"物体的属性只有通过实验才能为我们所了解，所以，凡是与实验完全符合而又既不会减少更不会消失的那些属性，我们就把它们看做是物体的普遍属性。当然，我们既不应由于自己的空想和虚构而抛弃实验证明，也不应取消自然界的相似性，因为自然界习惯于简单化，而且总是与自身和谐一致的。"

再次牛顿坚信物理世界是一个因果性的完整体系。

在牛顿以前，并没有能够表示经验世界的因果性的完整体系。他建立的运动方程，是一个以微分方程形式表示的函数关系，出现在方程左端项为力，右端项为质量与坐标的二阶导数的乘积，从而确立了用数值表示机械运动的因果公式。因为牛顿运动方程是以一个二阶常数微分方程的形式出现的，它的解，即运动轨迹是完全由两个初始条件所唯一决定了的，从而也就可以准确地确定这个物体以往的运动状态和准确预言它未来的运动状态，这就表明物体的机械运动遵循严格的机械决定论的因果关系。爱因斯坦在为纪念牛顿逝世二百周年而写的文章中，对此有如下的评述："在牛顿以前，还没有什么实际的结果来支持那种认为物理因果关系有完整链条的信念。"，"只有微分定律的形式才能完全满足近代物理学家对因果性的要求。微分定律的明晰概念是牛顿最伟大的理智成就之一。""牛顿设想，作用在一个物体上的力是由一切同该物体离得足够近的物体的位置所决定的，这种思想无疑是受了行星运动定律的启发。只有在这种关系建立起来以后，才得到了关于运动的完整因果概念。"

牛顿的科学发现是多方面的，他的科学思想也有多种表现，人们常常强调他的引力思想和宗教思想或以决定论表征他的科学观点，而忽视了更本质的物质观在牛顿科学思想上的核心作用。事实上物质观才是他的科学观的核心。这里有如下几个原因：

(1) 牛顿在《原理》二版第三卷的《哲学推理规则Ⅲ》中提出原子论是"全部哲学的基础"，在《原理》的《结构》手稿(未编入书中)中又提出"一切自然现象将取决于粒子的力"。此外，他写的第一个笔记《三一学院笔记》的头三节都是关于原子论和物质的粒子组成的，数学中的原子论观点、光学中的微粒说、早年的重力射线观点、化学研究中的粒子和粒子力、从粒子间的引力作用推导天体之间的引力平方反比定律和万有引力定律、从粒子说研究流体力学规律、质量定义和质点概念等，都来自原子论；

(2) 牛顿的物质发展组成思想从三层次粒子向多层次粒子组成的观点发展，而其最小的或终极粒子为原子。他认为万物万象及其变化在于粒子的结合与分离，粒子之分与合又在于粒子间的引力与斥力随距离变化和在某临界距离上相互转变，因而奠定了近程力理论的基础，对后来影响颇大；

(3) 牛顿的时空观、运动观、摆脱神创论和因果论的方法论，都是由他的原子论观点派生而来的；

(4) 二十世纪以来几位美国科学史学家也认为物质观是牛顿科学观的中心，如萨克雷在《原子与力》(1970)一书中说："越来越清楚，关于物质的本质属性和微观结构问题，在牛顿的长期和多产的生平中处于他的科学事物的中心地位"(英文版，P10)；魏斯特法尔(R. S. Westfall)在 1973 年发表的《牛顿和编造的因素》一文中说："牛顿科学的最基本方

面之一是它的物质概念”(Science, Vol.179, P753)。这些看法是有道理的。

通过对牛顿著述的系列考察,可以得出牛顿的物质观的发展可以分为三个阶段:第一阶段(1664—1674)为牛顿早期原子论阶段,这是从他开始接受原子论并用以研究科学问题时起,批判笛卡尔的以太旋涡说,至因光学上的争论面妥协时止。第二阶段(1674—1684)为向以太说妥协阶段,这是从他以原子论的变种理解以太开始,经过将以太说普遍化向淡化以太说发展的阶段。第三阶段(1684—1725)为牛顿后期原子论阶段,这时他坚信原子论,全面否定了以太说,甚至在晚年也只是作为一种看法讨论,而不能认为向以太说妥协,由于物质观的这种发展,使他的引力的本质思想也发生相应的变化,即重力射线阶段、以太压差效应阶段和未知原因阶段。

牛顿的《原理》中的质量定义拉丁文原稿为“Qantitas materie est copia mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine conjunctim”,其中文意思是“材质的数量是由材质的密度和大小共同产生的同一的容量和度量”。在英文版中,译为“The quantity of matter is the measure of the same, arising from its density and bulk conjointly”。这个译法省去了“容量”一词,并将“材质”译为“物质”,因面使原子论的含义淡化。但是,仍保留了“ejusdem”,并译为“the same”。其中“the measure of the same”是属概念,为该定义的关键,面“arising from…”为种概念并用作表示求质量的方法。所以,以种概念限制属概念在逻辑上是无可非议的。如何理解“the same”十分重要,但是却被马赫和日文版译者阿布及郑太朴译的中文版所忽视了,它可以有两种理解,一种为 the same 的代词,即物质之量为物质的量度;另一种为牛顿在《原理》一版第3卷的假设Ⅲ修改稿中说的“the same 可理解为一切同类物体的质(quantity),这似乎是全部哲学的基础”,按照这种理解,物质之量为一切同类物体的质的量度。两者都把“由密度和体积共同产生的”作为求质量大小的方法,对于前者为求物质所含有的数量,对于后者为求一切同类物体的质的数量,并且考虑到牛顿《原理》中质量定义后面的详细说明中的原子论意思,都显示出牛顿的原子论和物质组成思想,它只能指物质含有的原子数量。

马赫在《功守恒的历史和根源》(1871)和《力学》(1883)二书中,批判牛顿的质量定义陷入与力定义和密度定义两个循环。事实上,牛顿从未用力定义质量,而这在历史上被认为是欧拉由 $f=ma$ 做出的,至于密度在牛顿时代及其以前只作为物质疏密程度的一般理解,从未有人定义它,牛顿在《原理》中也未定义。相反,伊壁鸠鲁把原子看做物质的“基本度量单位”,伽桑狄认为“与实体有关的定量的质量只是原子的总和”。马赫在引证牛顿在《原理》中的质量定义时,用德文表述为“Definition I Die Menge der Materie wird ihre Dichtigkeit und ihre Volumen vereint gemesem”,其中译文为“定义Ⅰ物质质量由其密度和体积共同度量”,这个定义显然忽略了“of the same”这个关键的词,并且与拉丁文原文和英文译文的意思出入甚大,因而与牛顿的原定义明显不同。此外,马赫在引证牛顿质量定义后面的一段说明时,将“这样,在双倍的空间中双倍密度的空气的数量为4倍,在三倍空间中为6倍,同样的事物可从被压缩或液化的雪和细微的灰尘或粉末,以及不论由什么原因面不同凝聚的一切物体,予以理解”,和“在这里我未考虑介质,如果有这种介质自由浸入到物体的各部分之间的间隔的话”这些与原子论有关的话都删去了。从马赫的这种引证可以看出,马赫是从反对原子论的观点理解和批判牛顿的质量定义的,再从他以可测量的作用力之比和加速度之比来定义质量,以取代牛顿的定义,可看出他是从操作的或实证

的观点来定义质量的。

牛顿的质量定义在 18 和 19 世纪曾被广泛应用，后来它和马赫的质量定义基本是被按 $f=ma$ 所定义的质量取代了，而牛顿作为 $f=ma$ 的提出者应该了解可以用 m 和 a 定义 f，但是用操作观点定义在当时是逻辑上和习惯看法上不允许的，他只能从概念上采取前述的定义方法，这种理解比较符合历史实际。

因此，我们认为牛顿和马赫都可以从不同的观点定义质量，而且在逻辑上也都是合理的，但是马赫对牛顿的质量定义进行批判却不一定是必要的。但应该承认，马赫对牛顿力学的若干批判，起到了解放一代物理学家的思想、增强他们批判经典物理学建立现代新物理的信心的历史作用。爱因斯坦就承认马赫的这一贡献。

通常的看法是牛顿的时空观为绝对的时空观，而马赫首先批判了牛顿的绝对时空观并提出相对的时空观，因而导致相对论的出现。这个说法原则上是对的，但是有一些重要问题应当予以说明。作者详细研究了牛顿的有关手稿、《原理》和马赫的《力学》之后认为，严格地说牛顿的时空观应该说是绝对的和相对的相结合的时空观，马赫基本上是在牛顿力学框架内批判牛顿的绝对时空观，继而提出他的相对时空观，这也许是他的时空观导致相对论的产生而他又反对相对论的主要原因。这些看法的主要根据是：

(1) 关于绝对时空观的理解有两种看法，一种是宇宙存在静止的中心或宇宙空间与时间都有起点，另一种是时间和空间不随速度或质量而变化。严格地说来，绝对时空观主要指前一种而言，例如当前流行的宇宙大爆炸理论。承认相对论即第二种观点。由于大爆炸理论以宇宙从起点的大原子爆炸后膨胀而来为基础，因而认为时间和空间有静止的中心或起点，属于绝对是过分观范畴；

(2) 牛顿早年的绝对时空观是从宗教观点和谋略摆脱神创论出发提出的，如他在 1668 年左右写的《论流体的重力和平衡》手稿中说“…因为广延不是创造的，而是永远存在的，并且因为我们有一个与上帝无任何关系的绝对广延观。”后来莱布尼茨批评牛顿的绝对时空观的主要原因之一是牛顿反对上帝创造时、空，他正是主张时、空是上帝创造的，因而才主张时、空是相对的。所以，牛顿将时间和空间客观化在当时具有积极的和进步的意义；

(3) 牛顿是相对时间和空间概念和术语的最早提出者，他在 1684 年 10～11 月写的手稿和《原理》中总是把相对的和绝对的时间与空间并提。他认为区别二者的标准是“与外部任何事物”(即参考系)是否有关，相对空间是绝对空间的某种可动的大小或量度，即相对时、空是绝对时、空的部分和具体表现，前者是具体的和物理的，后者是抽象的和数学上的。因此，牛顿在《原理》的《定义》中根据相对性原理和物质系重心不变原理，提出太阳系中心可能无限地匀速运动下去(惯性参考系)，“很可能在各恒星的遥远天区或者可能远在它们之外，会有某个天体是绝对静止的。但是，从我们区域中的物体相互位置是不可能知道的……都会得出从我们天区中各物体的位置都不能决定有绝对的静止”。他又说：“我是以一个不动的中心吸引各物体处理的，虽然在自然界中很可能并没有这个东西存在”，而真正的静止“是以物体既不吸引也不被吸引”判定的，但是他又说这是不可能的，所以是纯数学上的而不是物理的。这些话说明牛顿并不认为宇宙中确实存在绝对静止的中心。但是，在《原理》第 3 卷中，他为了建立自己的宇宙系统和出于逻辑上的终极原因的考虑，才提出假设Ⅰ：宇宙系统的中心是不动的。麦克斯韦在《物质和运动》(1876)一书中曾

经这样说过："除去参照某种其他事物之外，我们不能描述一个事件的时间，或者除去参照某个其他物体之外，我们不能描述一个物体所在的地方。我们全部的时间和空间的知识在本质上是相对的"，这与牛顿的部分理解相似。

根据上述观点，我们可以说从总体上而言牛顿的时空观属于绝对时空观，但是说得严格些它是绝对的和相对的相结合的时空观。

马赫在《力学》中，从"一切事物都是相互联系的和相互依赖的"出发，指出"牛顿给出了他对伽利略惯性律做出假设的推广的准确意义。我们看到化为绝对空间根本不必要"。爱因斯坦肯定了牛顿将时间和空间客观化在当时是唯一可供选择的决定，具有积极的意义，并且指出"因为这一理论的逻辑结构如果没有这虚幻的概念，无疑会更加令人满意"马赫对牛顿时空观的批判只此而已，并不像他批判牛顿的质量概念那样严厉和激烈。

马赫基本上是在牛顿力学框架内抛弃了牛顿的绝对时空概念而发展其相对时空概念，即对牛顿的时空观进行扬弃，才提出他的相对时空观。但是，这与时、空随速度变化和四维曲度空间概念(至少在当时马赫的认识上)不太相同，所以马赫对相对论反而不理解并说没想到引出这样一个怪物。在今天的宇宙大爆炸理论家们看来，相信宇宙在时、空上有过起点或静止的宇宙中心并非错误，也就是说上述意义上的绝对时、空观可能是合理的。所以，我们在确认相对论的时空观的同时，对于绝对时空观的认识还有待深入思考。

(4) 关于"牛顿的第一推动"和"我不作假设"问题。时常见到有些哲学著作和文章指责牛顿主张第一推动；其原因是牛顿在给特雷的第二封信中提出行星沿轨道运动的横向力来自神臂的推动，有些著名的苏联哲学家认为牛顿是自然神论者，因为他把上帝第一推动之后的运动归之于自然。这些推理方法是由一个特殊情况得出普遍的结论，并由此论断牛顿的科学观点，这显然值得商榷，现在大家都清楚地了解到，牛顿把惯性运动归之于物质内在的惯性力或惯性质量，把落下运动归之于策略或万有引力，把物体的加速运动归之于外加力或作用力，并且把向心加速度归之于向心力，关于这些力产生的原因牛顿都是巡视于自然规律，而没有归之为上帝或神的推动。关于他当时尚不能从力学上得到合理解释的行星轨道运动的原因，才推之于神臂的作用，至于牛顿在科学上所说的上帝或神，从牛顿的著作中可以看出实际上是指尚不了解的自然。如他在《总释》的几编手稿和正文中指出："一个没有支配权、神意和最终原因的神，只能是命运和自然"，"关于上帝的很多事情是从事物的表象去讨论的，肯定属于自然哲学范畴"。

所谓的牛顿的第一推动与亚里士多德的第一推动有着原则的区别，亚里士多德在《物理学》中循着各层次运动原因的阶梯，步步追求其推动者，直到最初推动的推动者，显然这个第一推动者只能归之于上帝。但是，牛顿的说法却迥然不同。他在追求各种运动的科学原因，而对于行星的轨道运动的原因的实质，却是假托上帝的未知自然原因。

关于牛顿的"我不做假设"，学术界有各种看法，有的说牛顿说的是不作假设，实际上在著作中到处都做假设，有的人认为牛顿反对假设，就是反对科学假说，而假设和假说在科学研究上是必要的。所以这种观点会阻碍科学的发展；另一种看法是"不做假设"体现了牛顿的机械论。因此它起过积极作用又不利于科学的进一步发展。这些问题产生的原因主要在于如何理解牛顿说的"假设"。

牛顿为什么提出"我不做假设"？从他多次说明的原因和提出"不做假设"的最早时间来看，他对亚里士多德的神秘的质和笛卡尔的以太旋涡说深恶痛绝，以及在波、粒说争论

过程中由于胡克批评他的光粒子说是假设以及这场争论本身,使他苦恼得有如“碰上了幽灵”,从而使刚进入科学界的牛顿为了扎实地治学和避免争论,决心不作无根无据的假设,因为在这个基础上“不会产生科学”。从治学观点来看,牛顿相信实验事实、现象和逻辑推理,因而信仰实验哲学、归纳法和数学推导,因此他说:“凡是从现象推导不出来的东西才称作假设”。他在《光学》的《疑问 28》中说:“哲学的主要任务不是去编造假说,而是从现象去讨论问题,并从结果导出原因,直到我们找到最初始的原因为止”。这些情况和说法表明,牛顿说的假设是指凡不是以实验或观察的现象和事实为依据并用逻辑方法和数学推理得出的结论,都是虚构的假设。按照这个看法,牛顿在 1684 年以后,确实很少作假设。就《原理》而言,第二版第 3 卷的《哲学推理规则》在第一版中的一些假设,后来全都改变了。在第二版中只保留第 3 卷中的两个假设,一个为宇宙中心不动,另一个是以球形环取代地球以研究其自转和公转的性质。前者是出于使宇宙系统在逻辑上完整化而不得不对终极原因做出交待,而这种交待又不可能实验和观测,只能作为假设提出。后者是为了数学计算方便所致,但结果却是等效的。但是,后来科学发展说明前一个假设可能是一个“失误”。

牛顿的巨大成功和卓越的科学贡献象神秘的光环长时间笼罩着他在人们心目中的形象。在 18 世纪的书中,牛顿是一个神圣、完美得没有瑕疵的天才大物理学家。

直到进入 20 世纪 40 年代牛顿的形象才有了较大改观。1936 年,著名英国经济学家凯恩斯购得了一批牛顿的手稿、笔记本等并花几年时间对此进行了认真研究,发现牛顿虽然是一位彪炳史册的科学家,但也是一个醉心神学和炼金术的人。从此,牛顿的传记作家们开始从多角度对牛顿深入剖析。更多的人们开始知道牛顿同样和其他人一样也是有很多弱点的。阿西莫夫就说,牛顿是一个糟糕的演讲者,一个或多或少还是个胆小怕事的人,一个喜欢自我怜悯的好哭的人,而且有时还容易灰心丧气。1968 年,曼纽尔(Frank E. Manuel)出版了应用弗洛伊德精神分析心理学理论研究牛顿的传记《艾萨克·牛顿的画像》。精神分析心理学把人生的一生分成几个特殊的阶段,而早期的生活经验必将影响个人后来的行为。在曼纽尔的眼中,牛顿早期的经历是一个难得的典型案例。牛顿出世前三个月父亲已经去世,出生时牛顿身体非常虚弱,这给了牛顿渴望父亲的动力,当现实生活中无法找到父亲原型时,上帝(天父)便是牛顿追求的父亲的替代品。因此牛顿一生都醉心于神学的研究。牛顿三岁的时候,母亲改嫁牧师史密斯,牛顿因此失去了曾经拥有的母爱,从而产生了极度的心理焦虑,这种焦虑后来变成了他对自己所拥有的地位、科学发现优先权的焦虑,害怕像母亲一样被别人夺去。母亲改嫁的地方离牛顿的家乡很近,这又时常激发少年牛顿对母亲的渴望,这也成了牛顿追求科学的动力。牛顿十一岁时继父去世,母亲回到了牛顿的身边,但带来了三个同母异父的弟妹,这些人也抢占了牛顿应得的母爱。1665—1666 年因为伦敦瘟疫流行牛顿回到了家乡,在这两年内,牛顿完成了他在微积分、光学以及万有引力方面的大部分研究工作。这些工作恰恰是在母亲的身边完成的。1690 年牛顿的母亲去世,这一年也是牛顿科学生涯的终结年。这类心理学的探讨,结论不一定完全可靠,因为它必然地和所选择的心理学理论相关,但是这种探讨,对深入物理学家的内心世界,无疑是大胆的尝试。值得说明的是,虽然后人从多角度对牛顿的研究可能有损他曾经的完美形象,如 1997 年怀特出版的牛顿传记名为《牛顿:最后的巫师》。但是应该承认,作者们都无意诋毁牛顿的形象,也都承认牛顿的卓越科学贡献,作者们的

目标就是希望从各个角度进行探索以期解释和理解牛顿为何能做出这些超乎常人的工作。

(以上关于牛顿的内容参考了《大学物理》1991 年第 9 期上阎康年先生发表的文章)

3.3 法拉第——电磁学领域的平民巨人

迈克尔·法拉第于 1791 年 9 月 22 日出生于伦敦郊区一位铁匠之家。贫困不堪的生活剥夺了他接受更多正规教育的机会,法拉第只念过几年小学,只受过一点“读、写、算的启蒙教育”,13 岁就不得不离开校门,在伦敦一家装订和销售书籍兼营文具的小商店当勤杂工,帮助老板递送报纸。由于工作认真勤快,一年后转为正式学徒,学习书籍装订技术,这使他有机会读到了许多科学读物,“工作之余我正是在那些书里开始了自己的哲学生涯。”老年的法拉第曾这样回忆。他参加了 40 几个穷年轻人组成的城市哲学会,全部目的就是完善自我。可见法拉第不停奋斗这一主要性格较早就有个人理想的明确驱动。

21 岁那年法拉第有幸旁听了戴维在皇家研究所作的讲演。戴维当时已经是卓有成就的化学家。法拉第回家后把听讲的笔记加以整理,装订成册,不久他大胆地给戴维写了一封信,陈述自己有志于科学的迫切心情,并附上自己的听讲笔记作为证据;戴维十分欣赏法拉第的才华,立即写了一封回信,使法拉第深受鼓舞。1831 年 3 月法拉第 22 岁时,皇家研究所空出了一个实验室助理员的位置,戴维推荐法拉第担任自己的助手,终于使法拉第踏上了献身科学的道路,实现了多年的夙愿。

法拉第进入皇家研究所后,工作表现出色,深得戴维的器重和信赖。1831 年 10 月,戴维决定赴欧洲大陆讲学和旅游,他推荐法拉第任自己的秘书、助手,甚至还兼任男仆的工作。当时英、法两国尚处在交战中,戴维受到拿破仑的恩准,到达敌国首都巴黎讲学,这次讲学足迹遍及法国、瑞士、意大利、德国、比利时、荷兰等国,历时一年半之久。这次欧洲大陆之行在法拉第的生活中揭开了新的一页,对他是一次极不寻常的经历和接受教育的好机会,他不但有机会欣赏了各国秀丽的自然风光和各地的风土人情,更重要的有幸结识了欧洲许多著名的科学家,了解了各国科学研究的动态,大大增长了见识,开阔了眼界。他没途协助戴维做了许多化学实验,大大丰富了自己的科学知识,增长了实验才干。这一次极不寻常的锻炼和提高的机会,为他后来开展独立的实验研究奠定了牢固基础。法拉第的科学成就是多方面的,他所研究的课题十分广泛,可以说现代物理学和化学的许多领域都起源于他的发现和研究。他留给人类的实验研究笔记达 16000 多编,分装成三巨册,总名为《电学实验研究》,该书第一卷 1839 年出版,在这一卷的撰写过程中,法拉第患了神经衰弱症,从此他比较厌恶交际活动。这部巨著不但是他非凡的创造性科学业绩的实录,而且也是他忘我地献身科学的非凡坚强意志的见证,其中字里行间贯穿着他孜孜不倦地探索科学真理的强烈欲望和旺盛热情。他研究的课题,按照编年顺序排列有:铁合金(1818-1824)、氯和氮的化合物(1820)、电磁转动(1821)、气体液化(1823、1845)、光学玻璃(1825-1831)、苯的发现(1825)、电磁感应(1831)、不同来源电的同一性(1832)、电化学分解(1832 年起)、静电学、电介质(1835 年起)、气体放电(1835 年起)、光、电、磁的联系(1845 年起)、抗磁性(1845 年起)、射线振动思想(1846)、重力和电(1849 年起),时间和磁性、胶体粒子对光的散射(1857)等,以上列出的课题只是其荦荦大端。由此可以看出,在

1830 年以前，法拉第基本上是一位很有成就的分析化学家；从 1831 年起，他才把主要精力转到电学实验研究方面，而且正是在这个领域内取得他一生中最伟大的发现。

在科技书刊中，人们经常可以见到以法拉第命名的各种发现，例如法拉第电磁感应定律、法拉第电解定律、法拉第放电、法拉第圆筒、法拉第笼、法拉第暗区、法拉第效应、法拉第放电、法拉第旋转、法拉第常数、法拉第-廷德尔效应、法拉第-麦克斯韦电动力学、法拉第电容单位等，这些还远远未囊括以法拉第命名的全部发现。由此可证明法拉第留在科学史上的丰功伟绩。

由于戴维是化学家的缘故，法拉第早年主要从事化学研究。

1815 年 4 月，法拉第回到皇家研究所后，以新的面貌和充沛的精力及信心投入了化学实验研究工作。他在戴维指导下不但已完全掌握了各种实验技术，能够开展复杂的实验研究，而且还阅读大量资料，了解了新的研究动态。翌年即 1816 年，他就在皇家研究所《科学季刊》上发表了第一编科学论文，受到科学界的瞩目。法拉第对这编处女作十分珍视，四十多年后他把它收入文集时曾指出："这是我在化学上的第一次尝试，那时我的恐惧远大于我的信心，而这两者又远大于我的学识，我根本未想到我能够写出一编有创见性的科学论文。"此后，他的信心倍增，又得到戴维的热情鼓励和支持，陆续不断地发表了一系列研究论文。到了 1821 年，他已成为很有名的分析化学家了。1822 年他又发现了磁转动现象，这即是雏形的电动机，1823 年他液化氯气成功，连续取得了一系列重大成就。正是由于这一系列杰出的科学成就和在化学上的高深造诣，1824 年 1 月法拉第被正式选为英国皇家学会会员，这是英国科学界的最高荣誉，由此确立了他的科学地位。在他的生涯中也是一个极重要的里程碑。法拉第于 1813 年进入皇家研究所当助手，仅仅 10 年的岁月，就从一个装订学徒成长为一位著名的科学家，进入世界著名科学家的行列。

法拉第从学徒时期就找机会读了不少化学读物，从而对化学产生了浓厚兴趣。他在化学领域内的成就十分杰出。他发现和制备了一系列氯和氮的化合物，从石油气中发现了苯，尽管当时他尚未认识苯的重要价值，也不了解它的奇异分子结构，但苯的发现是化学上的重大成就，是有机化学和染料化学工业的基础。法拉第还使用简陋的仪器，简单的技术，新奇的思想，液化了氯气、二氧化硫、二氧化氮、硫化氢、一氧化氮、氨、氯化氢以及一系列其他气体，为气体的液化开辟了道路。他在进行这些实验时经常遇到玻璃容器的爆炸，有时甚至受到严重伤害，这是极其艰苦而又充满危险的实验，但法拉第为了探索科学真谛，面对危险与简陋的实验条件，毫不退缩，仍然继续坚持实验工作。

法拉第在化学方面最重要的成就是发现了电解定律，戴维曾利用伏打电池的电流从化合物中分离出 8 种新元素，发现了一系列新化合物，在化学上建立了丰功伟绩；但他对多少电流分离出多少元素的定量关系，即是对电解过程本身的规律性并未深究，而完成这一任务的正是法拉第。法拉第对电解过程本身的规律性进行了细致研究，总结出了两个基本定律，称为法拉第电解定律：一是从同一电解质析出的物质量与通过的电流量成正比；另一是相同电流在相等时间内从不同电解质析出的物质量与该物质的化学当量成正比。这些定律为现代的化学工业奠定了基础。特别是，电解定律的发现为后来提出电子的概念指明了方向。法拉第发现的电化学当量一致，实际上已隐含了电的载体具有相同的电荷和质量，这也就是电子存在的证据，但他未能跨出这一步，这是由于时代的局限性所致。

法拉第在研究电化学过程中，还深感当时流行的一些名词术语已不能正确反映新的实验事实和新的观点，继续使用它们往往带来各种误解，为此他迫切感到必须制定新的名词术语，以适应科学发展的需要。他在挚友、剑桥三一学院院长休厄尔的合作下，从语源学观点出发，制定了一系列至今仍普遍沿用的新的专用名词术语，例如电解质、电解、电极、阴极、阳极、阴离子、阳离子……，这些名词术语不但正确地反映了客观事物的本质，而且形象简明，已成为科学用语的重要组成部分。

然而法拉第对科学贡献最大的领域还是电磁学。

19世纪以前，人们对电和磁的认识非常肤浅，不但尚未形成统一的理论，累积的实验事实也非常之少。只是在进入了19世纪，才开始了电学的新纪元，而在这一发展过程中起了承前启后、继往开来、占主导作用的最重要人物就是法拉第。

1800年伏打发明了电池，能够为科学实验和研究提供有限的稳定电流。1820年荷兰物理学家奥斯特发现导线内的电流能引起附近的磁针偏转，由此发现了电流的磁作用，第一次揭示了电与磁的内在联系，这是电学和磁学研究的一大突破，并为此后电磁学的蓬勃发展开辟了新的前景。

1822年法拉第在奥斯特发现的启发下发现了电磁转动现象，这即是原始的电动机，也是法拉第在电学实验研究方面迈出的第一步。此后他集中思考的一个重大问题，就是如何把奥斯特的发现倒转过来，使磁转变为电。实际上，当时有这种思想的并不只是法拉第一人。例如安培所做的实验甚至离发现磁转变为电仅一步之差；阿拉戈也发现了在磁铁下面迅速转动的铜盘会引起磁针转动的现象，其中显然已显示了磁转变为电的契机。但这些都未能真正揭示电磁感应的本质，法拉第完成了这一伟大的发现。根据历史记载，1830年美国科学家亨利也发现了这一现象，但他未公开发表。

在发现电磁转动现象后，法拉第就经常在口袋里放着一个小线圈，以提醒自己不断思考磁变为电的问题。他为此艰苦探索了近10年之久，做过许多次实验，但日记上的记录都是“失败”。只有到了1831年8月29日，他才在这个问题上有了重大突破，找到了正确的实验方法。他发现问题的关键是必须使导线切割磁力线，也就是磁铁和导线必须相对运动，才能使磁转变为电，产生感应电流，在静态下则不存在。接着他对这一现象进行了全面深入的研究，不但取得了充分确凿的实验证据，而且有了明确的思想，无可争辩地证实了磁变为电的事实，这就是法拉第发现的电磁感应现象。这是一个划时代的伟大发现，使人类第一次掌握了电和磁相互转变以及由机械能和电能相互转变的方法和手段，成为现代一切发电机、电动机和变压器的基础，为现代强大的电力工业、电子学工业和无线电工业的兴起和发展开辟了广阔道路，使人类历史迈入了电学世纪，其意义之重大深远，怎么估价也不过分。

法拉第在上述重大发现之后接着研究的问题是各种电的同一性。当时产生电的方法不只一种，例如有摩擦起电、伽伐尼电、伏打电和法拉第自己发现的电磁感应电……，这些不同方法产生的电是不是相同的，一直成为人们关心和讨论的对象。法拉第通过细心研究各种不同方法产生的电的磁作用、热效应、电解作用、生理效应以及电火花等，获得了充分的证据，证明了这些电是完全相同的，从而一举扫除了在这个问题上的种种迷雾。

法拉第一向潜心探索的一个问题是各种自然力的统一性，早在1816年的一次化学讲演中就提出过这种思想。他历来认为电、磁、光、重力，可能还有其他力，它们都是相互联

系、相互转化的，从而否定了当时流行的物理学的各个领域是各自独立的形而上学看法。他对磁转变为电的研究，即是源于这一思想。正是在这种思想指导下，他曾深入研究电对光的作用，磁对光的作用以及重力与光、电、磁的联系等，并且为此不畏艰苦地做过许多实验。尽管由于当时使用的实验仪器灵敏度不够高，未能获得成功，但他的思想和观点则是完全正确的，后来由别人用更灵敏的实验仪器而得到了证实。例如，电对光的作用在32年后由克尔在1877年发现；磁对光的作用在34年后由塞曼在1896年发现；重力对光的作用则由爱因斯坦的广义相对论得到了证实。

1845年法拉第发现了光偏振面在磁场内的转动现象，一般称之为法拉第效应，进一步揭示了光、电、磁三者之间的密切联系，指出光是一种电磁现象，也更加强了他的一切自然力是统一和相互转化的信念。1846年他在《关于射线振动的一些想法》这编短文中进一步指出了光的电磁理论，这证明他对光的电磁性质已有了深刻认识。为此麦克斯韦曾指出："法拉第提出的光的电磁理论，实质上和我提出的是相同的，不同的只是在1846年还没有实验数据可以用来计算传播速度。"正是法拉第的这些发现和思想，为后来麦克斯韦提出光的电磁理论提供了线索和依据。

法拉第在电化学和静电感应研究中发现了电介质的极化，为否定超距作用提供了又一证据。在磁感应研究中发现了物质的抗磁性、顺磁性、磁晶介质、磁的偶极性等。这些发现在科学技术上都有广泛应用。

19世纪是电磁理论臻于完善统一的时期。正是法拉第的创造性研究，他的划时代发现和他提出的场的概念，为电磁理论的建立铺平了道路，带来了电磁学革命。当然，集电磁理论之大成，完成电磁理论体系建设的是麦克斯韦，但他是在继承和发展了法拉第的发现才得以完成的，所以一般也称为法拉第-麦克斯韦电磁理论。

法拉第的思想非常深刻，具有创造性并富有高度的想像力。他以长期埋头从事实验研究的实践中所形成的逻辑思维方法和科学直觉，能够不用数学语言而洞察出客观事物的本质。麦克斯韦曾经指出："法拉第的思想本身是数学化的，可以用数学语言表示出来"。19世纪欧洲著名的数学物理大师亥姆霍兹也指出："法拉第的不少理论，必须用高深的数学分析方法才能推导出来，而他竟然未求助一个数学公式，仅仅依靠直觉就发现了它们，这是极其令人惊异的。"这些论述，十分深刻地揭示了法拉第思想最突出的特点，因此有人说："法拉第能闻出真理。"

最典型的是法拉第依据磁铁附近的铁屑分布状态，提出了磁力线和电力线的概念。他在电磁感应、电化学、静电感应和磁感应的研究中进一步深化和发展了力线思想，并进而提出了电场和磁场的概念。法拉第应用力线描述电和磁的作用及其传播方式，不但能够形象而真实地反映空间任何一点上电作用和磁作用的强度和方向，而且深刻地揭示出它们在空间内的传播方式：电力和磁力以线形式在空间内连续传播。法拉第还认为原子是力线的中心，力线本身是物质，起传播电力和磁力的作用。在此之前，人们主要研究力对物质的作用，一直受超距作用观点的支配，而现在法拉第则把研究的重心转到了力在物质粒子之间以及空的空间内的传播方式，指出电力和磁力的传播不是瞬时的，而是必须时间，并受到周围介质的影响，从而否定了近200年来在物理学领域中一直占据统治地位、认为不可动摇的牛顿的超距作用观点。这是一种观点和方法的转变和突破，使物理学从质点和力的研究发展到力场的研究，使场和物质粒子一样，成为另一种客观存在的物质形

态而出现于物理学中。

麦克斯韦正是继承和发展了法拉第富有创造性的力线思想和场的思想，为它们找到了完整的数学表示形式从而建立了电磁理论。麦克斯韦认为力线是真实存在的，是物质的某种力学状态，他借助于物理学类比，首先找到了一组正确描述它们的方程，这就是麦克斯韦方程组，从它们得出的一切结论，和已知的实验事实完全符合。其次，依据这些方程，他证明了电磁作用的传播必须时间，而不是瞬时传播的，彻底否定了超距作用。第三，他还计算出电磁作用的传播速度正好等于光速。依据这些，麦克斯韦建立了统一完整的电磁理论，预言了电磁波的存在以及光也是一种电磁波，使电、磁、光三者合而为一，向物理学的统一迈出了一大步，这是人类对电磁现象认识的一个飞跃和突破。

法拉第-麦克斯韦电磁理论的建立，是 19 世纪经典物理学的最高成就，为电学世纪的出现开辟了道路，在实践上取得了丰硕的成果，改变了人类生活的面貌，是强大的电力工业、电子工业、无线电工业兴起和迅猛发展的基础。

但是，在 19 世纪，电磁理论派别繁多，众说纷纭，莫衷一是，而麦克斯韦电磁理论只是其中之一种，因此并未立即得到普遍承认。只是在 10 年后，1888 年由德国物理学家赫兹从实验上证实了电磁波的存在之后，麦克斯韦电磁理论才战胜群雄，获得了科学界的普遍承认，树立起独一无二的无可争辩的牢固地位。

法拉第出身寒微，以只受过几年小学教育的程度，终于从一个学徒而成长为一代伟大的科学家，这绝不是偶然的。从他走过的科学道路可以看出，他的成功有其时代背景并归因于他毕生忘我地献身科学的精神。首先，19 世纪前半叶正是电磁学研究方兴未艾的时期，不但尚待建立统一的理论，而且有许多新的现象和事实尚待发现，实验研究有着广阔的天地。法拉第生逢其时，能够在这方面大显身手。其次，更重要的是他为追求科学真理而刻苦努力，锲而不舍，勤奋不懈的苦学苦干精神。特别是他一生淡泊为志，不慕荣华富贵，他断然拒绝各种荣誉和地位，拒绝一切优厚的待遇，拒绝出任皇家学会会长，拒绝接受爵士称号，甚至在逝世前还拒绝荣葬于威斯敏斯特教堂牛顿墓旁之荣誉，而宁可以一个普通平民的身份终其一生。他长年默默埋头在实验室内，献身于艰苦而危险的实验工作，以探索自然界的奥秘为毕生的志趣，形成了他高尚的价值观。爱迪生曾说过，一个人的成功，一分天才，九分勤奋，法拉第的一生正是如此。第三，敢于突破传统偏见，大胆创新。法拉第一贯只尊重实验、尊重事实，在长期的实践中，他形成了自己独特的研究方向和研究方法，形成了自己独特的风格，这就是始终如一坚持以实验为手段，潜心探索自然界的奥秘。他常常说："只有实验事实对我是最重要的。""没有实验就没有我的一切。"正是出于这种尊重实验、尊重事实的精神，才使他敢于突破一切旧的传统，敢于断然抛弃近 200 年来在物理学领域中一直占据统治地位的牛顿的超距作用观点，而创造性提出了与之针锋相对的力线概念、场的概念，使场成为与物质粒子并行的物理实体，导致建立了电磁场理论以及现代的场物理学。第四，是他从长期的实验研究中培养出来的丰富的想像力，深刻的洞察力，敏锐的头脑和统观一切的视野，使他的思想往往超前于他的时代，产生了许多深邃的直觉，这些正好弥补了他在数学训练方面的不足，能够透过现象面看到本质，能够不用高深数学而揭示问题的实质，从而做出重大的贡献。

法拉第自己一生没有孩子，但他非常热爱所有的孩子，在繁忙的科学研究之余，发表了一些专门为孩子们撰写的科学读物。

作为一位在多领域做出卓越贡献的科学家,法拉第不喜欢甚至恨物理学家、科学家这样的词。他始终将自己看做一位哲学家并且希望人们也如此看待他,他觉得自己的理论受到了他那个时代不公正的对待,更确切说是受到了教条主义的忽视。(*主要参考《大学物理》1991年12期,周奇先生的文章,但有增减*)

3.4　麦克斯韦——电磁学领域的牛顿

麦克斯韦1831年7月13日生于英国爱丁堡,从小受爱好发明创造的父亲的影响,对实用技术产生了浓厚兴趣(成年后麦克斯韦却成为一位理论物理大师,这一情形与牛顿类似)。8岁不幸丧母,其后受过两年家庭教师的教育。1841年,进入爱丁堡中学读书。14岁时就独立完成了名为《论有多个焦点的椭圆的画法》的论文,刊登在《爱丁堡皇家学会学报》上,受到几个著名数学家的称赞。1847年,进人爱堡垒丁大学,汉弥尔顿是他的逻辑学教师,福布斯是他的自然哲学教师,凯兰是他的数学教师,这三位教授都是当时学术界的知名人士。在3年内麦克斯韦完成了四年的课程。1848年他向数学老师提交了关于分析几何的论文,对滚动曲线理论提出了有创意的看法。1849年麦克斯韦做了混合颜色的实验,对颜色重新进行了分类,撰写了名为《论弹性体的平衡态》的论文。1850年,进入剑桥大学,获得数学荣誉考试的最高奖,因为数学成绩优异,成为数学学会会员。1854年从剑桥毕业,次年成为剑桥三一学院的研究员。1856年担任阿伯丁马里斯查尔学院的自然哲学教授。1860年到1865年任伦敦国王学院教授。1866年至1870年期间,曾担任剑桥数学荣誉学位的主考人,其间除研究电磁场理论外,1868年将概率论引入热学研究领域,并于1870年开始撰写《热理论》一书。1871年被任命为剑桥第一个实验物理学教授,并负责创建了后来著称于世的卡文迪许实验室。1873年,《电磁通论》出版,1876年《物质与运动》出版,1877年《热理论》一书出版。1879年11月5日因肠癌去世。其一生最重要的成就是对电磁理论和统计力学的贡献,他从理论上论证了电磁波的存在,提出了麦克斯韦分布律。

麦克斯韦之所以有如此惊人的表现和贡献,和他所受的家庭教育大有关系。其父对实用的、技术性的问题很感兴趣,经常从事小型的技术发明创造,并发表过一编关于自动送纸印刷机的论文。他还是爱丁堡皇家学会的会员。在父亲的影响下,麦克斯韦对各种事物充满了好奇心,总向大人们提出各种各样的问题。

一个偶然的机会,父亲发现了儿子的数学天赋。一天,父亲让麦克斯韦画静物写生,把一个插满金菊花的花瓶画下来。麦克斯韦画完了,父亲一看,不禁笑了。原来麦克斯韦画的全是几何图形:花瓶是梯形,花朵是一簇簇大大小小的圆圈,叶子是一些形状不同的三角形。从这以后,父亲就开始教儿子几何,后来又教代数。父亲还经常出一些数学题让儿子带到学校去做。这样,数学就成了麦克斯韦难分难解的朋友。数学王国便成了少年麦克斯韦的乐园。

1841年,老麦克斯韦把儿子送到爱丁堡中学读书。麦克斯韦操着一口乡下口音,穿着崇尚实用的父亲设计的衣服、鞋子。他受到调皮孩子的嘲笑,连老师也忍不住笑出了眼泪。因为父亲给他设计的服装与那时英国通行的服装格格不人。这给麦克斯韦带来了不少麻烦,他的独特的紧身衣常常在放学的路上被淘气的学生扯破。在这所学校里,麦克斯

韦只同两个很与众不同的孩子——坎贝尔和泰特建立了友谊。坎贝尔后来成为卓越的古典文学学者，泰特成为一名物理学家。

麦克斯韦对几何学的兴趣可从他用5个立方体制成的模型中看出来。他自己发现了次多面体，这是通过画出立方体各面的投影线而获得的。在他写出那编关于卵开线的画法的论文后不久，又写出了一份关于狠形线和更高阶的曲线几何特性与光学特性的非凡手稿。这已初步显示出他一生的两个特色：严密性和对几何论证的偏爱。从1845年起，老麦克斯韦重又开始出席爱丁堡皇家学会的会议，并照例带他儿子一同前往。

在爱丁堡中学的几年中，麦克斯韦的各科成绩都有飞速的进步，数学尤为突出。1847年秋天，麦克斯韦中学毕业，进入爱丁堡大学，专攻数学、物理，时年16岁。在这里，他那强烈的求知欲得到了极大满足。他钻研数学，写诗，不知疲倦的阅读，积累了极为丰富的知识。他当时的一位友人在日记中写道："我从未遇到过像他那样的人，我确信没有一个题目他不能谈论，而且谈论得头头是道，总搬出些最稀奇古怪的见解。"

到大学二年级时，麦克斯韦的数学和力学知识已相当丰富。他在爱丁堡皇家学会学报上发表了两编论文。一位赏识他的教授还特许他在实验室做实验。在爱丁堡大学，麦克斯韦受到两位显著不同的人的影响，一位是他早已认识的物理学家和登山家福布斯，另一位是哲学家哈密顿爵士。福布斯是一位实验家，因为发明地震计、发现辐射热的偏振、在冰川运动方面的几项开拓性工作而被人铭记。哈密顿是逻辑学和形而上学教授。福布斯培养了麦克斯韦条理清楚的写作风格，并把自己对科学史的学究式爱好也传给了麦克斯韦。哈密顿的广博学识和出色的批评能力恰好提供了适当的刺激，以唤起麦克斯韦研究基础问题的兴趣，从贯穿麦克斯韦论文的有趣的哲学旁白中，可以找到他的许多思想。

爱丁堡大学给麦克斯韦留下了美好的记忆。在这里他获得了从事科学研究所必需的训练。三年后，麦克斯韦升人剑桥大学读书。第二年，他以优异的成绩获得了奖学金。这一时期，麦克斯韦专攻数学，读了大量专著，但他读书不太讲系统性，有时为了钻研一个问题，可以接连一周目不旁顾；而有时他又可能见什么读什么，俨如一个性急的猎手，在科学领域里纵马驰骋。幸运的是麦克斯韦果然遇上伯乐——霍普金斯。霍普金斯是剑桥大学的教授，地球物理学家，又是一位"造就数学学位考试一等及格者的工匠"。他的学生中包括汤姆逊、泰特、斯托克斯等人。麦克斯韦成为霍普金斯的学生。在他的指导下，麦克斯韦克服了杂乱无章的学习方法。与此同时，他还参加了剑桥的斯托克斯讲座。在这两位优秀数学家的出色指导下，麦克斯韦进步很快，不到三年，就掌握了当时所有的数学方法。

1854年，23岁的麦克斯韦参加了数学学位考试，获得了数学甲等生的第二名，同时还获得了史密斯奖的第一名。在这一年，已掌握了过硬的数学本领的麦克斯韦对电磁学产生了浓厚兴趣。

麦克斯韦一生中曾三次担任大学教师。从剑桥毕业后，1855年，他成了剑桥三一学院的研究员，并仍然寄宿在学校内，直到1856年他担任阿伯丁马里斯查尔学院的自然哲学教授为止。麦克斯韦在那里过了4年。麦克斯韦并不怎么会讲课，是属于那种善于写不善于说的一类科学家。1860年，由于马里斯尔学院同阿伯丁的另一所大学——国王学院合并之后发生的经费削减，麦克斯韦被辞掉了阿伯丁的教授职务。不久以后，他被任命为伦敦国王学院教授，他在那里一直逗留到1865年。1866年至1870年期间，他曾担任剑桥数学荣誉学位的主考人，在考试内容和形式方面制定了一些受到广泛称赞的改革措

施。1871年,剑桥大学决定设立实验物理学教授职位和装备教学实验室。当时,其他两位最有名望的物理学家——威廉·汤姆生和赫尔姆霍茨无意接受这一职位,所以剑桥大学自然想到了此时正居住在伦敦西部从事研究的麦克斯韦,便发出了聘请,并终于说服他接受了这个聘请。

在这里,除了讲课之外,麦克斯韦还需要亲自组织卡文迪许实验室的筹建,成为这个世界著名的实验室的第一任主任。麦克斯韦的目标就是把它建成世界一流的实验室。在整个筹建过程中,他事必躬亲。麦克斯韦在实现自己的计划时,首先需要克服的就是人们在教学实验方面的陈腐偏见。麦克斯韦把教学实验室看成是“科学评论的学校”,并给教学实验室提出了一项任务——促进物理方法论的发展。麦克斯韦大声疾呼应用洪堡、高斯和韦伯在探测地磁时创立的共同研究的模式。从科学史上这种第一次的集体工作中,他看到了未来自然科学研究方法的基本形式的萌芽。

麦克斯韦只生活了49岁,但他在物理学的几个领域中都有过较深人的研究,且成绩斐然,使他的名字永远在物理学史上闪耀着灿烂光辉的是他在电磁理论方面的杰出贡献。

麦克斯韦是法拉第事业的后继者及发展者,他的研究就立足在这位前辈的研究成果上。1820年,丹麦物理学家奥斯特在做实验时最先发现了电流的磁效应,成为电磁的第一个发现者。这是一个划时代的发现,它导致了电磁电报和电动机的发明。在奥斯特发现电磁11年后,即1831年,法拉第发现了电磁感应能产生电流。这个发现使强电流的产生成为可能,发电机的原理和随后整个电工学的发展都是以它为基础的。另外,法拉第提出“力线”的概念,并据此推测出电和光有着非常深厚的亲缘关系,认为当时并列的、尚未联系起来的有关电和光的学说是相互联系的,并能形成统一的领域。然而,由于法拉第未受过数学教育,他只能定性地表述了自己的研究成果。法拉第的工作成了麦克斯韦研究的出发点。

麦克斯韦在大学的时候,就认真地研究了这位伟大实验家的研究成果。毕业不久,他读到了法拉第的《电学实验研究》,立即被书中新颖的实验和见解吸引住了。当时学术界对法拉的学说看法不一,有不少非议。原因之一是“超距离作用力”的传统观念影响还很深。而麦克斯韦认真研读了法拉第的著作后,悟出了法拉第思想的宝贵价值,也看到了法拉第表述方面的弱点,决心用数学弥补这一点。

1855年,24岁的麦克斯韦发表了《法拉第的力线》,这是他第一编关于电磁学的论文。但是,它基本上是对法拉第力线概念的数学“翻译”。这一年,恰好法拉第结束了长达30年之久的电学研究。麦克斯韦踏着法拉第的足迹,开始向电磁学深处挺进。他对电磁现象的研究一度由于父亲病故、工作变动等原因而搁置下来,但法拉第的学说一直像一块巨大的磁石吸引着他。他在阿伯丁的4年间,一直怀着一桩心愿,那就是用数学方法表达法拉第的学说。

1860年,麦克斯韦专程去拜访了法拉第。虽然相差40岁,但两人却一见如故,并且在对物质世界的看法上产生了共鸣。当麦克斯韦向法拉第征求他对于4年前写的《法拉第的力线》的意见时,法拉第说道:“这是一编出色的文章,但你不应停留于用数学来解释我的观点,而应该突破它!”法拉第的话像一盏明灯,照亮了麦克斯韦前进的道路。

接下来的日子,麦克斯韦设计了一个理论模型,试图对法拉第的力线观念作进一步的探讨。在讨论模型时,他发现了一个重要的事实,引起了他的极大注意。为了分析介质的

性质，他将静电单位与电磁单位相除，比值为一个常数。麦克斯韦惊奇地发现：它的数值恰好等于光速！莫非是偶然的巧合吗？他兴奋得几天没睡好觉，又仔细核实了好几遍数据运算，确实没有差错。几天后，他写信给法拉第，报告了这一结果。其实这个计算结果意味着电磁波传播速度与光速一样，但当时他没完全意识到这一点。

1862年，麦克斯韦在英国《哲学杂志》4卷23期上发表了第二编电磁学论文——《论物理的力线》。文章一刊登，立即引起了广泛的注意。著名物理学家、电子的发现者约瑟夫·汤姆逊后来回忆说："那编论文，我还清晰得记着，当时我18岁，一读到它，就被吸引得兴奋极了。"这的确是划时代的论文，它与1855年《法拉第的力线》相比，有了质的飞跃。论文不再是对法拉第观点单纯的数学翻译，而是作了重大的引申和发展。其中具有决定意义的一步，是引进了"位移电流"的概念。从理论上引出位移电流的概念，实在是电磁学上继法拉第电磁感应之后的又一重大突破。根据这一科学假设，麦克斯韦导出两个高度抽象的微分方程式，即著名的麦克斯韦方程式。该方程组到1865年才最后完善。这组方程从两方面发展了法拉第的成就：一是位移电流，它表明不仅变化的磁场产生电场，而且变化的电场也产生磁场；二是方程不仅完满解释了电磁感应现象，还做了推广：即只要有磁场变化，其周围不管是导体或电介质，都有感应电场存在。经过麦克斯韦创造性的总结，电磁现象的规律终于以数学形式被揭示出来，电磁学至此成为一门科学的理论。

在伦敦皇家学院的5年间，除了建立电磁理论，麦克斯韦在分子物理学、气功动力学等方面都有贡献。1865年，他正式宣布光的电磁理论后不久，就辞去了教职，在格伦奈尔系统地总结研究成果，撰写电磁学专著。经过几年的辛勤努力，于1873年出版了《电磁学理论》。这是一部电磁理论的经典著作。在这部著作中，麦克斯韦总结了人类在19世纪中叶前后对电磁现象的研究成果，其中有库仑、安培、奥斯特、法拉第的开山之功，也有他本人的创造性努力，建立了完整的电磁理论。这部巨著的重大意义，足以与牛顿的《数学原理》、达尔文的《物种起源》相比。经过几代人的努力，电磁学理论的宏伟大厦就这样矗立起来了。

当麦克斯韦开始踏上物理学之路时，机械自然观在科学家们的意识中普遍地占据着优势。人们力求应用空间运动的简单力学定律来解释一切自然现象。19世纪中期，能量守恒与转换定律的发现推动了物理学的发展，同时也使机械自然观达到了登峰造极的地步。柏林生理学家艾米尔就曾宣称："只有机械观才是科学"赫尔姆霍茨也表示了类似的看法，他写道："整个自然科学的最终目的溶解在力学之中。"

这种机械自然观最早出现在达芬奇和伽利略的著作中，并由笛卡尔从哲学上加以论证，最后由牛顿赋予了完整的形式。在牛顿看来，物质世界可以通过指明4个要素机械地描绘出来。这4个要素就是"时间、空间、质点和力"。一切自然过程都表现为质点在空间和时间中有规律地移动。这种由欧勒和拉格朗日用数学加以论证的"质点学说"，首先在天文学领域得到了光辉的证实并显示了极大的成功。稍后，这种质点力学的原理被扩展到流体运动和物体的弹性振动之中，特别是有力地应用于声学现象的研究中。但是，在某些问题上却明显地表现了它的局限性。特别是在光学中遇到了不可克服的困难。在牛顿创立的经典物理学体系中，最不能令人满意的部分就是关于光的学说，牛顿遵循自己学说的逻辑，认为光是由质点组成的自然物。这就产生了一个疑问：当光被吸收时，组成光的质点产生了什么现象呢？这就必然得出有重量微粒和没有重量微粒之间差别的结论。这

显然是缺乏说服力的解释。另外,磁力、电力和重力一直被说成是在一无所有的空间内发生作用并以无限高速传播着的力。对物理的相互作用做这样奇怪的解释未必不是把物理的相互作用说成是超自然的力。牛顿当时也在寻找出路,但未能获得成功。

有人试图用根本不同的方法来解释光的现象,其中包括与牛顿同时代的荷兰物理学家惠更斯。他设想:光是以纵向振动的形式存在的。这种纵向振动由微粒组成的物质中从激发源向四面八方传播,就像声音在空气中传播一样。然而,在光的微粒说的高大权威下,惠更斯的光的波动说的命运是可想而知的。直到19世纪上半叶,英国的托马斯·扬和法国的菲涅尔赋予了光的波动学说以另一种面貌,使光的波动说才有可能取胜。托马斯·扬和菲涅尔的出发点是:光的传播形式不是像吹长笛时空气振动那样纵向振动,而是像小提琴那样横向振动。牛顿的光微粒学说所不能解释的光的偏振、衍射等现象,现在很容易并十分圆满地得到了解释。从惠更斯那个时代起,光波动的机械载体被假设为一种神秘的介质——以太。20世纪初,爱因斯坦在阐述电动力学的定律时,放弃了以太假说,对这个神秘的问题做出了彻底的有论据的回答。然而,在距此近半个世纪之前,麦克斯韦所创立的光的电磁理论,就在通往无以太的现代自然观的道路上,迈出了最初的重要一步。"他的电和光的理论是如此地超前,又是如此地完善,以致在半个世纪后,爱因斯坦能够几乎原封不动地把它吸收到自己的相对论中去。"

麦克斯韦在自然科学领域是一个唯物主义者。他的全部著作的基础是对自然的现实认识;外部世界不取决于人的意识而存在,外部世界的各个具体方面是可以被研究的。法拉第曾对原子理论抱有怀疑,从而寻求避开原子概念来研究问题的方法,而麦克斯韦却与法拉第不同,他是原子论的公开捍卫者。这种原子论是一种在当时科学研究领域里占统治地位的形而上学机械唯物主义物质观。它认为世界上的一切事物都由原子组成,原子是"宇宙之砖",是不可再分的最小物质单位。原子的一些属性,如质量不变、广延性、不可分割性,就是一切物质形态的共同属性。

麦克斯韦曾说过:"人的心灵各有不同,科学真理也就应该以种种不同的形式出现,不管它以生动的物理色彩的形式出现,还是以朴素无华的符号出现,它都应被当作是同样科学的。"麦克斯韦在他的科学研究过程中,综合使用了各种行之有效的科学方法,主要有:数学方法、类比法、模型方法和实验方法等等。在个体运用中,麦克斯韦以数学方法为手段、以类比方法为基础,同时多种方法综合运用。

以古希腊的毕达哥拉斯为鼻祖的西方数学神秘主义认为世界的本原就是抽象的数,数学决定一切,这种思想不同程度上影响了部分后来的数学家和部分自然科学家,如开普勒。而多数物理学家认为数学是客观事物的定量反映,是一种知识工具。解析几何创始人笛卡儿曾说:"没有什么比埋头空洞的数学和虚伪的图形更无聊了"。这两种对立的态度,导致人们对数学持不同看法。一种把数学看做纯粹的符号,以数学为目的;另一种给数学赋予生动的物理概念,把它当作手段。霍普金斯和斯托克斯都属于后一种人。麦克斯韦受他们的影响,很重视数学的作用。他一开始就把数学和物理结合起来。这一点对他日后完成电磁理论是很关键的。对于麦克斯韦来说,物理学是探讨的课题,数学则是得心应手的工具。他在《法拉第的力线》一文中,通过数学方法,把电流周围存在的力线这一特征概括为一个矢量微分方程。根据这一方程,每一电流都产生一条磁的涡线。1858年,他在《土星光环》一文中,成功地运用数学物理方法,论述了土星光环是由一群散质点

构成,他因此获得了亚当斯奖。他的结论38年后被一位美国天文学家所证实。在土星光环研究中,他还运用了数学上的统计概念,提出了著名的麦克斯韦分布律。

在自然科学史上,只有当某一学科达到高峰时,才有可能用数学表示成定律形式。这些定律不仅能解释已知的物理现象,还可揭示出某些尚未发现的东西。定律的数学表示一定意义上成了物理学家追求的目标。正如牛顿的万有引力定律预见了海王星的存在一样,麦克斯韦在《论物理的力线》中,预见了电磁波的存在。1865年,他在第三编电磁学论文《电磁场动力学》中,采用了拉格朗日和哈密顿创立的数学方法,由该方程直接导出了电场和磁场的波动方程,其波的传播速度正好等于光速,与他四年前推算的结果完全一致。至此,他确信,电磁波的存在是确定无疑了。他因此断定,光就是一种电磁波。法拉第当年关于光的电磁说的朦胧猜想终于由麦克斯韦变成了科学推论。

麦克斯韦用他那著名的微分方程概括了许多电磁现象。他的公式简便,为数学和物理学家所珍惜和赞叹,以至使奥地利物理学家玻尔兹曼引用浮士德的话说:"这种符号难道不是出自上帝之手吗?"麦克斯韦创立的电磁方程开创了电的世纪,这些方程组的创立,可以看成是牛顿的引力场到爱因斯坦的相对论这段时期中物理学史上最重要的理论成就。

尽管麦克斯韦的电磁理论相当完善,但麦克斯韦宣布他的理论之后,一直没人能发现电磁波。因此许多人对他的理论持怀疑态度。就连曾经给过麦克斯韦热情鼓励的汤姆逊也不敢肯定麦克斯韦的预言是否可靠。麦克斯韦本人也未能用实验来证实自己的理论。其原因有主观的,也有客观的。主观上,正如他的学生弗莱明所说:"他在理论上预见了电磁波的存在,但似乎从未想到过用任何实验去证明它。"法拉第一生从未离开过实验,而与此相反,麦克斯韦在剑桥的5年间,仅进行了有限的实验,而且多是气体动力学方面的。客观上,由于工作环境和条件所限,麦克斯韦一直没有更多机会从事电磁学实验。热力学和分子物理学的研究耗去了他大部分时间和精力。直到1888年,也就是麦克斯韦去世9年后,德国物理学家赫兹终于通过实验发现了电磁波,证实了麦克斯韦的理论,并导致了无线电的诞生。

除数学外,麦克斯韦还习惯运用类比和建立模型的方法。按法国物理学家、物理学史家皮埃尔·迪昂的看法,这是多数英国物理学家区别于法、德物理学家而最为擅长的方法。类比是在两个事物之间,根据一个事物与另一事物的某些相似或相同,推测它们可能存在的另一些相似或相同,从而把一类事物的知识或数学公式类推到另一类事物上。它无需对研究的事物先提出物理假说,而是借用与它类似事物的现象和性质去想象,受到启迪,提出推测,进一步去检验确认它。这两类事物之间可以相差甚远,人们不会简单地将两类事物混同起来,轻信类推,这就是类比的妙处,也是麦克斯韦最擅长的方法。类比不仅为他提供了数学的途径,而且帮助他理解现象的本质,导致了许多重要的发现。

在《论法拉第的力线》中,他用力线类比流体中的流线,建立了一个假想模型,即一个无限大、各向均匀、不可压缩流体的运动。通过类比,凭借流体力学知识推导出静电、磁、稳恒电流场的公式。他说:"这种流体只是虚构特性的总和,假设这样的流体是为了便于用一种更通俗易懂、更适合于流体问题的方式建立某些数学公式。"这样他得到了一组公式,给法拉第的思想提供了一个基本的数学形式。但这时他的工作还未完全突破法拉第的认识。在研究过程中他已感到这个模型的缺陷。在结论中他说:"这个模型只是一个几

何模型，还不是动力学模型。"他相信他能通过进一步钻研弹性介质的理论和有关的流体力学理论解决它。

麦克斯韦从 1861 年又开始了电磁力线的研究。他又一次采用了类比方法。由此我们可看到他运用类比是如何纯熟、高超。他不是简单地比较相同之处，更重要的是从比较中看到差异，由差异看到其特殊本质，然后再提出新的类比模型。为此他建立了电磁的动力学模型，深入比较了力线与流线的不同。经过全面的分析比较，他又提出了分子涡旋模型。他假设磁力线是由以力线为轴转动的圆筒组成。圆筒旋转的线速度代表磁力的大小，轴线方向代表磁力线的方向，按右手规则确定，这样力管具有纵向收缩横向扩张的特性，磁的北极与南极总是相对出现，成为力管的两个端面。分子涡旋模型很好地说明了磁力的性质。在一个均匀的磁场中，要使许多平行的圆筒能够转动，必须设想在圆筒之间充满微粒球。当圆筒转速相等时，小球中仍转动而无滑动。若相邻两个圆筒的转速趋于相同，假设这些微粒子是带电粒子，当粒子只有转动而无移动时，电流为零；当粒子发生移动时就有电流产生。即当磁场发生变化时，圆筒转速变化引起带电粒子移动，它的移动方向阻止了圆筒的变化，并从而把这种转速变化转至其他圆筒，建立起新的均衡转速，微粒流则不再移动。这就是法拉第的电磁感应现象在导体中的发生过程。

这个分子涡旋模型不仅具有描述功能，能很好地说明电磁感应现象，而且还具有发现功能，能揭示电磁现象之间存在着的新的"物理关联"。当麦克斯韦把这个模型类推到电介质时发现了位移电流和电磁波。麦克斯韦比较了导体与绝缘体在电性能上的区别，指出前者能传导电流，后者不能传导电流但能传递电的作用。由此，他设想电解质类似胞格把分子涡旋分割开，它能变形但不能移动。根据弹性理论，电解质在电动力作用下会引起弹性变形，有电位移发生，这就是电解质的"极化"。当电动力消失时，胞格恢复原状，电位移也将回复到它的初始状态。胞格在变形同时也施作用力于涡旋使其转速变化。涡旋又作用于其邻近的胞格使之发生电位移。这一现象犹如在介质中发生的电感应现象。若电动力或磁场不断变化，电位移就不断发生，从宏观上看，就有位移电流产生。由此，他首次提出了位移电流的概念。从这个模型中还可以看出，若电力使微粒球移动也会带动圆筒的转速变化，由此，他又得出电场变化引起磁场变化、磁场变化又引起电场变化、这种变化都是借助中间小球而渐次传递出去的结论。这是一种扰动的传播，由此他提出了"电磁波"的概念。根据弹性介质理论可知这种波动是一种横波，通过类比推算电磁波速与菲索光学实验所计算的光速近似，由此，他大胆地猜测："光是引起电磁现象的同一介质的横波"。

麦克斯韦的这些思想在《论物理学力线》中作了阐发。这编论文提出了位移电流、电磁波以及光的电磁说的猜想。它们对电磁场思想的形成十分重要。在这里我们最容易追踪他的思想发展的路线。在这编文章中我们看到新原理的基本思想是逐渐形成的，在它周围带着一切为建筑用的脚手架。他非常懂得模型方法的优点和局限性。模型只是为了形象地说明事物之间的关联，通过它可以揭示新的联系，便于运用数学方法去表达那些真实的关系，然后再通过数学去检验这种关系。他说："我不想把它（分子涡旋）作为在自然界中存在的一个联系模型，甚至不想把它当成我很愿意接受的一种电学假设。然而，它是一个在力学上可以接受的关联模型，并且容易得到检验，它可以说明已知的磁电现象之间的实际力学关联。因此，任何了解这个假说的暂时性和临时性的特点的人，都会感到自己

在寻找对这类现实的真实说明的过程中受到了它的帮助,而不仅仅是受到了提示。"

爱因斯坦在1931年纪念麦克斯韦诞辰一百周年的文章中高度肯定了麦克斯韦的科学地位:"自从牛顿奠定理论物理学的基础以来,物理学的公理基础——换句话说,就是我们关于实在的结构的概念——的最伟大的变革,是由法拉第和麦克斯韦在电磁现象方面的工作所引起的","在麦克斯韦以前,人们以为,物理实在——就它应当代表自然界中的事件而论——是质点,质点的变化完全是由那些服从全微分方程的运动所组成的。在麦克斯韦以后,他们则认为,物理实在是由不连续的场来代表的,它服从偏微分方程,不能对它作机械论的解释。实在概念的这一变革,是物理学自牛顿以来的一次最深刻和最富有成效的变革……"

3.5 马克思·普朗克——让世界跳跃的人

20世纪是值得人类特别记忆的。在这百年里,人类建立了以相对论和量子力学为基础的现代物理学。人类对物理世界的认识突飞猛进,20世纪的物理成就比人类有史以来直到19世纪末的总和还要辉煌。

有一个人首先发现并叩开了新世纪物理之门,掀起物理世界的一场大革命,并一生与现代物理学两大支柱密切相关,这个人就是马克思·普朗克(Max Plank,1858—1947)

纵观普朗克的一生,有两大贡献:其一发现作用量子,其二发现了爱因斯坦。这位伟大的物理学家逝世至今已整整半个世纪,回顾他的伟大足迹,回忆他的高风亮节,对今天的我们仍有许多启示。

3.5.1 生平简历

马克思·普朗克1858年4月23日生于德国的基尔城,父亲是德国著名法学教授。童年时期普朗克表现出相当突出的音乐才能,是优秀的钢琴手和风琴手。中学时期基本上准备攻读数学或音乐,甚至还打算研究古典文学。中学毕业后,1874年10月进入慕尼黑大学很快又为物理学所吸引。但当时他的老师约利等都劝他不要选择物理专业,理由是物理学在能量守恒与转化定律发现后,已基本完成,不可能期望从物理学的研究中再得出什么新的东西。但是普朗克仍然选择了物理作为自己的研究方向。这实在是物理学的幸运。现在我们知道他作此选择决非偶然。他在其《科学自传》中写道:"引导我致力于科学研究和从青年时期就爱好它的原因是一个不显而易见的事实,即我们的思维规律和我们从外界接受到的自然过程的规律是吻合的,因而人们有可能通过纯粹思维对这种规律作出解释。对此具有重要意义的是外部世界是我们所面对的、独立于我们面存在的绝对存在,而探索这种绝对存在所适用的规律,我认为就是最崇高的科学研究任务。"[1]通过这段道白我们可以清楚地看到普朗克世界观的一个重要部分,也可以看到他投身科学的原因以及他科学研究追求的目标。一个青年能置著名物理学家之劝于不顾,说明普朗克当时对科学的热爱以及科学研究工作在他心目中已处于至高无上的地位。从1874年做出选择到1877年,他一直在慕尼黑大学学习物理学和数学。1879年到柏林大学继续学习一年。

一位科学家的成功,外部因素的作用是不可忽视的。有一类科学家的生活或研究工作是艰难不幸的,如开普勒、欧姆、迈尔、居里夫人等等;还有一类科学家则十分一帆风顺,

如牛顿、卢瑟福、玻尔、杨振宁等等。普朗克属于后一种,这首先体现在求学道路上他遇到了许多良师。除提到过的约利外,在慕尼黑大学他还师从数学家泽德尔和鲍威尔,尤其是后者对普朗克影响甚大,他造就了普朗克超群的数学思维能力。这一点至关重要,高超的数学功力在后来普朗克的研究工作中屡见奇效。在柏林大学他又有缘在著名物理学家亥姆霍兹和基尔霍夫指导下学习并取得博士学位。此外德国著名物理学家克劳修斯对普朗克也有过较大影响。1879 年 6 月 28 日普朗克通过的博士论文论述的就是热力学第二定律。1880 年普朗克成为慕尼黑大学的物理讲师,1885 年被家乡基尔大学聘为理论物理特约教授。1889 年师长基尔霍夫逝世,普朗克应邀到柏林大学继任基尔霍夫的职位,担任新设立的理论物理学的科学讲座,1892 年提升为正教授。1926 年被英国皇家学会吸收为会员,同时还担任柏林威廉皇家研究所所长。1918 年获诺贝尔物理学奖。1947 年 10 月身为德国也是世界物理学界精神领袖之一的普朗克与世长辞。终年 89 岁。

3.5.2 研究工作与研究思想

克劳修斯对普朗克的影响不仅促使普朗克选择热力学问题作博士论文,而且吸引普朗克在相当长一段时期内研究热力学中的化学平衡、气体离解、渗透压、热力学第二定律表述等问题。关于热力学第二定律,普朗克是针对焦耳的热功当量实验而给出普朗克表述的:不可能造一个机器,在循环中把一重物升高而同时使一热库冷却。在有的热力学经典著作中这一表述往往与开尔文表述、克劳修斯表述并列给出。因此克劳修斯的影响使普朗克成了一名热力学专家。然而比起普朗克对黑体辐射问题的研究,这些工作都显得十分微不足道了。

1894 年黑体辐射问题引起了普朗克的注意。在此之前已有多人关心研究这一问题并取得了一系列成果。普朗克昔日老师基尔霍夫证明:在一个空腔中,如果腔壁的材料保持在一定温度,那么在热平衡状态下,辐射的本性与组成腔壁的材料性质无关。即物体的谱辐出度 $E_{v,T}$和吸收比$A_{v,T}$的比值只是频率和温度的普适函数,即$\frac{E_{v,T}}{A_{v,T}}=f(v,T)$。

普朗克正是被基尔霍夫函数的普适性所吸引,他说:“这个所谓正常的能量分布代表着某种绝对的东西,既然在我看来,对绝对的东西所作的探讨是研究的最高形式,因此我就劲头十足地致力于解决这个问题。”[2]

普朗克称之为“绝对的东西”或“绝对物”是什么呢? 阿尔明·赫尔曼(德国著名理论物理学家)认为就是柏拉图称之为“理念”的东西,然而通过下面这段话我们可能会更加体会到普朗克的本意。普朗克曾说:“我们始终只能以现实的东西为出发点。我们的全部量度都是具有现实的本质的。我们用来工作的仪器的物质,是受物质出产地制约的。仪器的构造是受制造它的技术人员的技能制约的,它们的操作使用是受实验工作者用其来达到的目的制约的。必须从所有这些数据资料中找出‘绝对物’,普遍有效不变量存在于这些数据资料之中。”[3]世界的客观性与客观世界规律的统一性构成普朗克主要的科学信念。1908 年他在莱顿演讲时从物理局部的统一谈到了整个世界的统一。他认为物理学的最高目标就是把“物理现象错综复杂的多元性综合到一个统一的体系,假若可能的话把它综合到一个唯一的公式”[1]。能量守恒定律是符合他的信念的一个定律,在从事热力学研究中他又发现不可逆过程也显示着自然界的某种绝对性,因此普朗克十分重视对能量和熵两大概念的深人理解。菲利克斯·奥尔巴赫曾称能量与熵分别为“世界的主人及其影

子”,并说:“能量守恒定律的重要性是所有物理学家都公认的。19世纪末,普朗克也以越来越新的提法指出了熵的重要性及意义,因为实际上熵起着自然财政部部长的作用,而能量只不过是会计。”[4]

正因为有这样的认识,普朗克没有像其他人那样寻找辐射强度与温度的直接关系。他认为在辐射问题上熵应当具有最基本的意义,应将振子的熵与其能量联系起来。他还认为真空中的黑体辐射能量分布是所有可能分布中的最稳定分布。因此在给定的体积中具有一定能量值的辐射,其熵值为最大。所以如果找到熵 S 与振子平均能量 U 间的关系,就可以找到热辐射光谱的能量分布规律。沿着这一思路,1899年5月他得到了下列结果 $S=-\frac{U}{av}\ln\frac{U}{eav}$

1899年底,普朗克得知鲁本斯(Rubens,1865—1922)等人在1899年7月发表的实验报告提出维恩公式 $\rho_v \mathrm{d}v = C_1 v^3 \mathrm{e}^{-C_2 v/T}\mathrm{d}v$

在 $\lambda T \to \infty$ 时出现明显偏差。1900年10月7日鲁本斯夫妇访问普朗克并告诉他在 $\lambda T \to \infty$ 时瑞利得出的公式 $\rho_v \mathrm{d}v = \frac{8\pi}{c^3}kTv^2\mathrm{d}v$

与实验符合得很好;但当 $v\to\infty$ 时,$\rho_v\to\infty$ 是发散,与实验不符。

事实上,1900年在普朗克之前,有好几位物理学家试图用适当的幂次再乘以某种指数因子的公式来拟合辐射的频率分布函数,但均未成功。

普朗克没有直接去调和维恩公式和瑞利公式。他巧妙地利用热力学方法发现,对于前者,熵 S 对 U 的二次微商 $\mathrm{d}^2S/\mathrm{d}U^2 \propto -1/U$;而对于后者有 $\mathrm{d}^2S/\mathrm{d}U^2 \propto -1/U^2$,于是他凭数学的直觉假定了内插公式 $\frac{\mathrm{d}^2S}{\mathrm{d}U^2}=\frac{a}{U(\beta+U)}$

通过计算并根据维恩位移律,可以确定 $a=-k$,$\beta=hv$,便得出 $U=\frac{hv}{\mathrm{e}^{hv/kT}-1}$

以及黑体辐射公式 $\rho_v \mathrm{d}v = \frac{8\pi hv^3}{c^3}\cdot\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{e}^{hv/kT}-1}$

鲁本斯连夜(1900年10月19日)把这一公式与他测量的数据仔细做了比较,结果发现在任何情况下与实验结果都相当符合。

但是,新的辐射公式毕竟还是一个侥幸的内插凑出的公式,并不具备明确的理论基础。这不是普朗克的科研风格,他当然不满于此。从1900年10月19日(他这一天向德国物理学会报告了研究结果)起他即致力于找出这个公式的真实物理意义。我们说过,普朗克是热力学专家,他的科学信念有现象论的成分,所以他一向坚信热力学函数的绝对性,而对基于原子论的统计物理不够注意甚至不屑一顾。然而很快他就发现他所钟爱的热力学普遍理论无法给他的辐射公式以很好的解释。出于无奈,他不得不孤注一掷转而求助于他先前厌恶的统计观点。首先,他写下了玻耳兹曼关系:$S=k\ln W$。

然后按玻耳兹曼的方法把能量分成一份一份,分成有限个数的谐振子,就像分配给单个的分子、原子那样,设能量 E 划分为 P 个相等的小份额 ε(能量元),则 $E=P\varepsilon$。这些能量元 ε 在 N 个谐振子中可以按不同的比例分给单个谐振子。假设有 W 种分配方案,根据排列组合法则,可得 $W=\frac{(N+P-1)!}{(N-1)!\ P!}$

这里 $N>>1$,$P>>1$,可利用 Stirling 公式 $\ln x! = x\ln x - x$,得 $W=(N+P)^{N+P}/$

$(N^N P^P)$，于是 $\ln W=(N+P)\ln(N+P)-N\ln N-P\ln P$

由于 $S=k\ln W$，$S=Ns$（s 为单个振子的熵），以及单个振子平均能量 $U=P\varepsilon/N$，则可得

$$S=K\left[\left(1+\frac{U}{\varepsilon}\right)\ln\left(1+\frac{U}{\varepsilon}\right)-\frac{U}{\varepsilon}\ln\frac{U}{\varepsilon}\right]$$

所以 $\frac{1}{T}=\frac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}U}=\frac{k}{\varepsilon}\left[\ln\left(1+\frac{U}{\varepsilon}\right)-\ln\frac{U}{\varepsilon}\right]$

于是 $U=\frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT}-1}$

另外，与辐射公式等效的熵应是频率 ν 的函数，即 $S=f\left(\frac{U}{\nu}\right)$。

于是普朗克想到："如果将维恩定律的这一公式和关于 S 的方程一起考虑，就会发现能量元 ε 一定和频率成正比，即：$\varepsilon=h\nu$，因此有 $S=k\left[\left(1+\frac{U}{h\nu}\right)\ln\left(1+\frac{U}{h\nu}\right)-\frac{U}{h\nu}\ln\frac{U}{h\nu}\right]$

这里 h 和 k 是普适常量。"[4]这样就有 $U=\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}$ 或 $\rho_\nu \mathrm{d}\nu=\frac{8\pi h\nu^3}{c^2}\cdot\frac{\mathrm{d}\nu}{e^{h\nu/kT}-1}$

与内插法得到的辐射公式完全一致。

普朗克当时算出 $h=6.65\times10^{-34}$ J·s，普朗克称之为作用量子，后来称之为普朗克常量[精确值为 $6.62559(16)\times10^{-34}$ J·s]。

在推导辐射公式时，假设 $E=P\varepsilon$ 至关重要，它和公式 $\varepsilon=h\nu$ 一起构成能量量子化的全部内容。它冲击了经典物理学"一切自然过程均连续"的原理，在经典物理宏大体系中打开了第一个缺口，具有划时代的伟大意义。

普朗克如何看待自己的能量量子化假设呢？物理界认为他是保守的。的确，有证据表明他为自己采取"孤注一掷的行为"而长期惴惴不安，曾企图将他的假设纳人经典框架中去，并告诫人们："把作用量子引人理论时，要尽可能保守从事，非绝对必要，不要改变现有理论。"[5]但是同样有理由相信普朗克对自己的理论至少有时又是确信不疑的。只有在能量量子化假设之上才能得出正确的黑体辐射公式，这一点他绝对坚信。另一方面，根据他的辐射公式并结合当时的实验数据能计算出 h、k、N_A 及电子的电量等值，并与其他方法得到的数值吻合得十分好。这很符合他的科学信仰，即这些绝对量恰符合他追求绝对的思想。这使他信心倍增："只要引力定律和光在真空中的传播以及热力学的两个定律保持有效，这些常数就具有它们的自然意义。"[5]"当然，还有许多工作要做……但是开端已有了：量子假设将永远不会在世界上消失；……我相信我的下述想法并不太过分：这个假设已为一种理论打下了基础，使它有一天会使人们对分子世界的迅速而奥妙的过程产生新的见解。"[5]量子力学！多么精辟多么准确的预言！而且还在更早，他刚刚作出量子化假设时，就曾向他年仅6岁的儿子埃尔温讲述了他的工作的意义："今天，我做出了一个发现，它和牛顿的发现一样重要。"[6]

毫无疑问，普朗克是位有极高科学修养的严谨的物理学家，经典物理在他头脑中有极深的烙印。但因此说他保守，却未必准确。最好的佐证就是相对论对经典物理的冲击，较量子化假设有过之无不及，然而最早给予相对论创立者以大力支持的就是普朗克。

因此，说普朗克对待自己提出的量子化假设心态比较复杂甚至时而坚信时而彷徨，似乎更合理、更贴切。

3.5.3 普朗克与爱因斯坦

正当人们对能量量子化假设褒贬不一，普朗克自己也犹豫彷徨之际，比普朗克年轻21岁的青年爱因斯坦于1905年3月完成了《关于光的产生和转化的一个试探性观点》一文。爱因斯坦敏锐地看到了量子化概念隐含的普遍含义，把普朗克对谐振子能量量子化假说大胆引申到对光的辐射的研究中，认为光是由能量为 $h\nu$ 的光量子组成，从而很好地解释了光电效应。后来他又完成过几编与普朗克假设有关的、有创意的文章，如研究比热理论等问题，极大地发展了量子假说。由此可见，普朗克对早期的爱因斯坦是有深刻影响的。两个人的科学哲学在很多方面观点是相同的。比如，坚信自然界之客观性，客观世界的和谐性、统一性，科学研究追求简洁性等等。

1905年6月爱因斯坦的杰作《论动体的电动力学》即狭义相对论诞生。这编惊天动地的文章在一段时期内据说全世界只有少数几个人能真正理解。物理学界支持爱因斯坦相对论的第一位权威人士就是普朗克。正是他作为德国《物理学年鉴》的主编(一说是编辑)认识到爱因斯坦论文的价值并予以及时发表。这是爱因斯坦的最大幸运，也是20世纪物理学的另一幸事。我们没有忘记曾几何时德国权威刊物《物理学和化学》，拒发迈尔观点新颖的《论力的量和质的测定》一文而拖延了迈尔能量守恒定律问世的时间。

据说普朗克在读完爱因斯坦文章之后给不曾相识的爱因斯坦的信中写道："你这编论文发表之后，将会发生这样的战斗，只有为哥白尼的世界观进行过的战斗才能和它相比……"[7]由此可见，普朗克作为职业物理学家的卓越洞察力和预见力。果然，后来德国出现了庞大的反相对论公司，在一些其他国家、甚至在我们国家的特殊时期，在"学术"刊物上也有许多对爱因斯坦的"批判"。

普朗克还是最早庇护相对论的人。1905年底，他就在柏林大学讨论会上作关于相对论的演讲，对相对论给予公开的支持，并用了3年左右时间研究相对论。

物理学家瓦尔特·考夫曼决定通过阴极射线在电场、磁场中的偏转实验检验相对论，并由于错误测量而声称驳倒了相对论。这对相对论极为不利。1906年普朗克不辞辛苦地分析了考夫曼的实验条件，认为是靠不住的，指出应慎重地再做一次实验。同时普朗克发现爱因斯坦给出的电子运动方程根据不充分(爱因斯坦奠基性的论文在这一点上的确不正确)，并自己重新推导出该方程，得出相对论动能表达式，发展了相对论动力学。

通过研究，普朗克在相对论中发现了符合自己科学信仰的东西。他认为最小作用量原理在相对论中具有特别重要的意义："最小作用量原理处于比两者(能量守恒和动量守恒)更优越的地位，自然界所有可逆过程都受其支配。"[1]

普朗克还给予爱因斯坦其他方面的帮助和爱护。

1909年，身为德国自然科学家和医学协会理事的普朗克亲笔写推荐信，秋天，爱因斯坦受聘为苏黎士大学特约教授。1913年夏，普朗克和能斯特一道赴伯尔尼请爱因斯坦到柏林，成为科学院院士、"皇家威廉物理学研究所"所长。

然而，1947年10月闻知普朗克去世更令爱因斯坦首先难过地忆起的却是另一件事：普朗克和一些其他德国科学家如海森堡等一样，盲目地忠于国家，纵然如此普朗克还曾跑去规劝希特勒不要那样迫害爱因斯坦等犹太人科学家。当然，结果可想而知，善良的普朗克遭到恶魔一顿斥骂。

事实就是这样，没有德高望重的普朗克的支持和宣传，爱因斯坦和他创立的相对论不

会那样快就引起人们的重视并确立其在现代物理学中之地位。爱因斯坦自己承认:"相对论很快地引起了物理学界的兴趣这一事实,在很大程度上是由于普朗克对它的热情而坚决的支持。"[8]正是普朗克发现、支持并保护了爱因斯坦。这将永远是物理学界流芳千古的美谈。

1958年4月25日,在柏林庆祝普朗克诞生100周年纪念会上,海森堡如是说:"马克思·普朗克的100岁生日恰巧处在一个时代,和以前的时代相比,它在许多领域里,如在政治、艺术和价值标准的领域里,都给人们以一种非常混乱的感觉。所以在纪念像马克思·普朗克这样一个和谐的人格时,我们可引以为慰的是,至少在一个领域里,就是在普朗克一生的工作领域里,可找不到任何一点混乱。相反,在这里表现出来的都是和柏拉图或者开普勒或者牛顿的时代一样的单纯和莹澈的光明。"[9]

又是几十年过去了,海森堡的评价对于今天、普朗克逝世半个世纪的纪念,同样中肯,同样恰如其分。

轰轰烈烈,人间百年。今天我们同普朗克当初一样又立足于新世界的起点。物理学也仿佛完成了它发展的一个周期、一个轮回,又有新困惑,但前方还不明朗。此时此刻此情景,我们不能不更加由衷地感到,值得再一次为普朗克欢呼,因为是他使20世纪的世界跳跃。同时我们更盼望诞生21世纪的普朗克,像他那样,有坚实的数理根基,有成熟的科学哲学,有完善的人格。物理人呼唤新的普朗克早日君临世界。

参　考　文　献

[1]王晓明. 普朗克的第二次量子假设. 物理, 1993, 22(9): 561,562~563.
[2]申光甲, 张锡鑫等. 物理学史简编. 济南: 山东教育出版社, 1985.
[3][德]阿尔明·赫尔曼. 物理世界大国的统治者. 朱章才译. 北京: 科学普及出版社, 1992.
[4]郭奕玲, 沈慧君. 物理学史. 北京: 清华大学出版社, 1993,238.
[5]张三慧. 普朗克和爱因斯坦对量子婴儿的不同态度. 大学物理, 1990, 9(11): 33.
[6]秦关根. 爱因斯坦. 北京: 中国青年出版社, 1979,57.
[7]Max Planck. Physikalalische Abhandlungen und Vortr? ge. Braunschweig, 1958, 3: 86~87.
[8]许良英, 范岱年编译. 爱因斯坦文集 第一卷. 北京: 商务印书馆, 1976.
[9]海森堡. 严密自然科学基础近年来的变化. 上海: 上海译文出版社, 1978.

(本文作于1997年,发表于1998年第3期《大学物理》)

3.6　卢瑟福——原子物理的伟大奠基者

亘古至今,自然界斗转星移,人类历史人物的更替也从未间断。但"有的人死了,他还活着"。他留给人类的宝贵精神财富,经受住了时间的考验,吸引无数后人不断缅怀追忆学习,寻求启示与激励。毫无疑问,卢瑟福(1871—1937)就是这样的人。

卢瑟福1871年出生于新西兰的一个手工业工人家庭。1895年在新西兰大学毕业后,获得英国剑桥大学的奖学金到该校的卡文迪许实验室实习,成为实验室主任J·J·汤姆逊的学生和助手。1898年,在汤姆逊的推荐下,他担任加拿大麦基尔大学的物理教授。1907年,返回英国,任曼彻斯特大学教授。1918年接任退休的汤姆逊的职位。1925年当

选为英国皇家学会主席。1937 年 10 月 19 日逝世，与牛顿和法拉第并列安葬，享年 66 岁。

在不到半个世纪的时间里，卢瑟福在原子物理（包括原子核物理）领域取得了巨大成就。回旋加速器发明者 E·Lawrence 说："他（指卢瑟福）被普遍认为是原子内极其不定的复杂宇宙的主要探索者，他是第一个进入这个宇宙的人。"[1]

1890 年布朗利（E·Branly）成功地制造了电磁波接收器。卢瑟福在新西兰大学坎伯雷学院学习期间很快进入该领域。1893 年至 1894 年，他自制仪器实现了 0.5 英里范围的无线电收发工作，显示了他出色的实验天赋，成为发明无线电的先驱者之一。1897 年，J·J·汤姆逊在人类历史上发现了第一种基本粒子——电子，打开了研究现代物理的大门。然而，汤姆逊发现电子所用的重要仪器大都出自他的研究生卢瑟福之手。伦琴 1895 年发现 X 射线，卢瑟福成功地解释了气体在 X 射线作用下"活化"的原因。从此他开始了对 1896 年贝勒尔发现的天然放射性的研究。通过实验 1899 年 1 月卢瑟福宣布铀射线是复杂的，其中至少有容易吸收的被他命名为 α 射线的成分以及具有较强穿透力的被命名为 β 射线的成分。后来知道还有 γ 射线。1902—1903 年他和索第提出了放射性元素的嬗变理论，认为"放射性既是原子现象，又是产生新物质的化学变化的伴生物。"[2]而且发现了放射性物质衰变的指数规律：$N=N_0e^{-\lambda t}$。该公式成为后来考古学家确定历史年代的科学依据。同时，他从 1902 年即开始探索 α 粒子的组成，1908 年终于弄清 α 射线是由双重电离的氦原子组成。1909 年和盖革（Geiger）、马斯登（Marsden）合作通过 α 粒子散射实验，出乎意料在发现了 α 粒子万分之一的大角度散射现象。1911 年经过艰苦的深入分析，在该实验基础上提出著名的卢瑟福原子有核模型。1914 年被授予爵士勋章。1915—1919 年在第一次世界大战期间，在海军的一个研究机构中发明了探测潜艇的声纳。1919 年在人类史上第一个实现了元素的人工嬗变，他用天然放射源$^{214}_{84}Po$产生的 9.68MeV 的 α 粒子轰击氮原子核，两者发生核反应，转变为$^{17}_{8}O$，同时放出一个质子。他在 1920—1922 年间，预言了中子、氘、氚、氦^3 和正电子等的存在。1927 年提出原子核由中子、质子和电子组成的模型。1931—1937 年，在最后的时间里他主要做了两件事：在他指导下，制成第一个加速器，并利用它实现了重元素的人工转变和发现轻元素聚变，还用实验证明了质能关系；在希特勒上台迫害德国知识分子时期，他组织救援委员会，为一千余名流亡科学家和其他知识分子安排工作，鼓舞了当时各国科学家投入反法西斯斗争行列。

面对这一系列丰硕惊人的成果，我们至少现在可以这样评价：他的原子有核模型今天仍然是合理的，正是对有核模型的完善才有了其学生玻尔的氢原子理论，而对玻尔理论的深入拓展，人类才拥有了以海森堡、薛定谔为代表所建立的微观世界的物理——量子力学。所以卢瑟福在实验基础上提出的原子有核模型是人类探索微观世界成功的三级跳中之第一步；他对放射性的研究以及首先实现人工元素嬗变等大量开拓性工作，使他毫无疑义地成为核物理之父。J·H·Jeans 曾说："……卢瑟福是原子物理上的牛顿。"[3]这确实可以代表一些物理学家的看法。然而更多的人似乎更同意 E·Fermi 的评价："卢瑟福勋爵肯定是属于最高级的实验家……"[4]可能出于对伟大人物的苛求心理，也有人认为："卢瑟福不太看重高深的理论……"[5]玻尔也曾提到："卢瑟福的某些说法曾引起误解，使人们认为他不能充分认识数学形式体系在物理科学的进步中的价值。"[6]然而玻尔指出："事实上完全相反，当主要是由他创立的那一物理分支迅速地发展起来时，卢瑟福是常常

对新的理论方法表示赞赏的，他甚至对量子论的哲学涵义问题也很感兴趣……”[6]有一件事可以从一侧面印证卢瑟福在理论物理方面的造诣及理论物理方面的敏锐。我们知道，玻尔的成名之作《论原子和分子的组成》是 1913 年 3 月、6 月、9 月以三部曲形式寄给卢瑟福，并经卢瑟福推荐面发表于《哲学杂志》(即 Phie. Mag.)。卢瑟福收到玻尔论文第一部分后于 1913 年 3 月 20 日给玻尔的回信中写着：“您的假说中有一个严重的困难……那就是，当一个电子从一个定态转入另一个定态时，它怎样决定它将以什么频率振动呢？在我看来，您似乎不得不假定电子事先就知道它将在什么地方停下来。”[6]卢瑟福提出的问题，成为后来许多理论物理学家争论不休的一个中心问题。故此，虽然卢瑟福不是理论物理学家，但说他不看重高深理论是不公允的。

在群星璀璨的物理世界，卢瑟福更为人称道的是他罕见地实现了伟大科学家与伟大人格的和谐统一。他既有伟大科学家对科研工作的热情冲动，深邃的洞察力，抓住问题本质的非凡能力，又有为人的正直、公正、善良、虚心与慷慨，以及对朋友的忠诚。这一切像磁石一样将不同国籍的年轻物理学家吸引到他的周围。作为教师或导师，人们认为他做得比他的研究工作更负盛名。凭借卓越的领导能力，他成为独一无二的优秀科研组织家，培养了几乎整个第一代原子物理与核物理专家，热情地宣布他的朋友和助手的成就，却不提自己在其中的重大作用，“他对曾经和他在短期或长期内接触过的许多青年物理学家中的每一个都表示热烈的兴趣。”[6]他培养过的科学家中获诺贝尔物理学奖的有 12 人之多，这是卢瑟福创造的又一个世界之最。

1997 年是卢瑟福逝世六十周年。他生前创造的一个又一个有口皆碑的奇迹，值得我们认真回味。引起不同人感触的可能是这完善人格的不同侧面，但任何侧面所反射的都是高尚之光辉。

参　考　文　献

[1]阎康年.揭观宇宙的开拓者及其获得的崇高评价.物理.1983,7:446.

[2]Phil. Mag. 6. S. Vol. 5,1963.

[3]D. E. Wagoner et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. NS 31(1984),53.

[4]E. Fermi , Supplement to Nature, 140 3555(1937),1052.

[5]阿尔明·赫尔曼. 物理学世界大国的统治者. 北京:科学普及出版社, 1992.

[6]丹麦 DN·玻尔·原子物理学和人类知识论文续编. 北京:商务印书馆, 1978.

(本文作于 1995 年，发表于 1997 年第 8 期《物理通报》)

3.7　爱因斯坦——与牛顿比肩的物理大师

爱因斯坦(1879—1955)，1879 年 8 月 14 日出生于德国符腾堡的乌尔姆。1880 年举家迁往慕尼黑。1879—1891 年在慕尼黑上中学。1896 年进人苏黎世的瑞士联邦理工大学师范系学习，1900 年毕业。1902 年在失业两年后，被伯尔尼瑞士联邦专利局聘为职员。1905 年发表《论动体的电动力学》(即狭义相对论)、《光量子说》、《布朗运动理论》等 5 编论文，并经答辩获得苏黎世瑞士联邦理工大学博士学位。1913 年任伯尼尔大学教授。1912 年返回瑞士担任苏黎世瑞士联邦理工大学理论物理学教授。1913 年任柏林威廉皇

家学会物理研究所所长，并当选为普鲁士科学院院士，受聘为柏林大学教授。1916年在德国柏林，完成了《广义相对论》的创立。1922年7月在瑞士哥特堡，接受了1921年度的诺贝尔奖。1933年希特勒上台，开始在国内疯狂推行法西斯主义和残酷迫害犹太人，爱因斯坦离开德国，来到美国普林斯顿定居，担任普林斯顿高等研究所研究员。1940年正式加入美国国籍。1945年退休，但仍继续研究工作。1948年发表《新统一场论》。1955年4月18日在普林斯顿医院病逝，享年76岁。

3.7.1 爱因斯坦对科学事业的巨大贡献

19世纪末和20世纪初是物理学的伟大革命时期，层出不穷的新的实验事实猛烈地冲击着二百年前由伽利略和牛顿奠定的经典物理学理论体系基础。年轻的爱因斯坦，从认识论的高度来批判地考察被人们认为是天经地义的经典物理学的基本概念，在充分吸收前人科学研究成果的基础上，在理论上做出根本性的变革，使物理学的发展进入了一个新的历史时期。

爱因斯坦从三个方面开始他的理论探索，并且是在探求物理世界统一性的前提下进行的。

他最先取得的成果是关于分子运动论的研究。他用统计力学和流体力学相结合的方法来研究热力学问题，特别是研究悬浮粒子在流体中的运动，不仅在理论上彻底解决了早在1827年发现的布朗运动，而且通过直接观测可以推出分子的实际大小。这个理论预测，三年后由法国物理学家佩兰在实验上给予证实。

其次在发展量子论方面做出了重要贡献。1905年3月他提出光量子论，把量子概念扩充到辐射的传播和吸收领域，从而圆满地解释了以前无法解释的光电效应的经验规律。光量子论使19世纪已获巨大成功的光的波动理论又出现了对立面，在人类认识自然界的历史上第一次揭示了波动性和粒子性的对立统一，它直接为德布罗意建立物质波理论开辟了道路。光量子论刚一出现，就遭到包括普朗克在内的几乎所有老一辈物理学家的反对，直到1923年发现了X射线散射的康普顿效应，才被承认下来。爱因斯坦于1906年又把量子论扩充到物体内部振动上去，成功地说明了低温时固体的比热同温度的关系。1912年他又把光量子概念用于光化学现象，建立了光化学基本定律。1916年，他对量子论的发展进行了总结，并从玻尔的量子跃迁概念推导出普朗克辐射公式。在题为《关于辐射的量子理论》的论文中，他把统计原理和量子论结合起来，对于1925年量子力学的创立有重要的启示作用。也是在这编论文中，他提出了受激辐射理论，这是20世纪60年代迅速成长起来的激光技术的理论基础。

爱因斯坦终身事业的标志是相对论。他经过十几年的酝酿探索，于1905年6月发表了题为《论动体的电动力学》论文，他从分析两个在空间上分开的事件的同时性取得突破点，根据匀速直线运动的相对性和光速不变这两个有普遍意义的基本实验事实，重新考查了经典力学中空间、时间、运动等基本概念，完整地提出了狭义相对论理论，否定了绝对时空概念和"以太"的存在。使几十年来最恼人的"以太漂移"问题一扫而清。狭义相对论不仅揭示了作为物质存在形式的空间和时间的统一性，也深刻地揭露了各种物理运动形式的统一性，而且还进一步揭示了物质和运动的统一性，加深了物质和运动不可分割的原理，并且在理论上为原子能时代开辟了道路。

狭义相对论建立之后，他进一步研究了加速度的相对性。1907年他从引力场中一切物

体都具有同一加速度这一实验事实出发,根据均匀引力场与均匀加速度等价的原理,经过八年艰苦努力,在他的老同学格罗斯曼的合作下,应用黎曼几何理论,终于在1916年建立了广义相对论。广义相对论进一步揭示了作为空间和时间同物质运动的统一关系,空间的结构和性质取决于物质的分布。1938年他在广义相对论的运动学问题上又取得了进展,证明了从场方程可以推导出粒子运动方程,由此更深一层揭示了时空、物质、运动之间的统一关系。狄拉克认为,爱因斯坦的引力论"大概是人类已经作出的最伟大的科学发展。"

继广义相对论之后,爱因斯坦在宇宙学、引力波和统一场论等方面进行了探索,提出了一个有限无界的静态宇宙模型。他试图建立引力场与电磁场的统一理论。

爱因斯坦所从事的六个领域的工作中,除统一场论目前还没有定论外,其他五个方面都是可以做出肯定的评价的。大家都公认,量子论和相对论是现代物理学的两大理论支柱,在这里,爱因斯坦的贡献可以说是很难有人能和他相比。对于爱因斯坦在科学上的成就,法国物理学家朗之万认为,他对科学的贡献更深人到人类思想基本概念的结构中。1976年出版的15版《英国百科全书》关于爱因斯坦的介绍,第一句话就是:他是"在他生前就被公认为人类历史上一个具有最大创造性才智的人"。上述的评价是恰如其分的。可以说,在整个人类科学史上,只有哥白尼、牛顿和达尔文才能够同爱因斯坦相媲美。

3.7.2　爱因斯坦的哲学思想

爱因斯坦取得无与伦比的成就,与他深入接触哲学上的重大问题,并以解决物理学中的矛盾作为研究哲学的目的有关。他是一位物理学家,他更是一位思想家,他以海纳百川的博大精神,关心、探讨、思索关于自然以及关于人和关于人与自然关系的所有问题,既关心思索一个人的生存及其意义问题又关注人与社会关系问题。在热衷的所有问题中,物理问题如果有什么特殊,就是因为这属于他的职业。从他的角度看,物理问题不过是探讨宇宙的和谐、人生的意义、伦理的价值等一系列问题的一个初级的部分。他的研究与有些其他人不同的就是研究、思索就是他生活的重要内容,是他选择的完善自己人生的道路。因此,爱因斯坦真正超乎他人的无疑是他的崇高境界。这也使得他看待问题时常常体现出居高临下的气势,往往在世人迷茫中承担开山辟路之使命。他说:"物理学的当前困难,迫使物理学家比其前辈更深人地去掌握哲学问题。"他还说:"认识论要是不同科学接触,就会成为一个空架子。科学要没有认识论(要是这真可以设想的话)就是原始的混乱的东西。"他给后人留下一句名言:"哲学是科学之母"。

爱因斯坦在少年时代读了机械唯物论者编写的自然科学读物,并相信"在我们之外有一个巨大的世界,它离我们人类而独立存在,它在我们面前就像一个伟大而永恒的谜,然而至少部分地是我们观察和思想所能及的。对这个世界的凝视深思,就像得到解放一样吸引着我们。"这种相信自然界是客观存在的信念,贯穿着他以后的一生。

青年时代他读到斯宾诺莎的著作《伦理学》,引起了强烈的共鸣。他们有共同的遭遇和大体相仿的"离经叛道性格"。在斯宾诺莎的影响下,他把求得对自然界的统一性和规律性的理解,作为自己生活的目标。他认为:"科学研究能破除迷信,因为它鼓励人们根据因果关系来思考和观察事物。在一切比较高级的科学工作后面必定有一种关于世界的合理性或者可理解性的信念。"

爱因斯坦在青年时代深受休谟的影响。休谟从感觉论出发,对一些传统观念采取怀疑的批判态度,要求一切被认为先验的东西都回到经验的基础上来。因此他主张:"发展

独立思考和独立判断的能力，应当始终放在首位。"这无疑对爱因斯坦的批判精神和重视经验的哲学思想的形成有积极作用。

马赫是第一个向牛顿的形而上学观点作了最有力的挑战的人，他在《力学发展史》中从经验论的角度认为牛顿力学一些重要概念没有经验事实根据；另一方面从相互联系的角度批判了牛顿的绝对时空观。爱因斯坦在《自述》中回忆道："当我是一个学生的时候，这本书正是在这方面给了我深刻的影响。"并且承认他自己"从有点像马赫的那种怀疑的经验论出发，经过引力问题"，"转变成一个信仰唯物论的"人。

爱因斯坦说过：本世纪(20世纪，编者著)初只有少数几个科学家具有哲学头脑，而今天的物理学家几乎全是哲学家，不过"他们都倾向于坏的哲学。"(《爱因斯坦文集第一卷》)。在他看来，自己最大的哲学信仰是与众不同的。正如他自己所说："对我来说，思想的基础是信仰无限制的因果性，'我对他恨不起来，因为他所做的原是他该做的。'因此，我更接近斯宾诺莎，而不接近先知们。"(《爱因斯坦文集第三卷》)。这里他说的先知们，虽然不是指20世纪的一些物理学家，但纵观爱因斯坦的思想，这句话是适用于表达他与其他物理学家的思想分歧的，至少他自己认为是这样。

3.7.3 爱因斯坦的科学方法

自然科学方法是联系哲学和自然科学的一根纽带。爱因斯坦的哲学思想就是通过他的科学研究方法获得了理论研究的重大成果的。

爱因斯坦的科学方法，是建立在三个思想原则的基础上的。一个是相关性原则，即相信自然界各种现象有内在联系。物理和几何的相关性，使他提出了"柔性"度规的概念，为广义相对论的建立提供了基础；再一个是对应性原则，就是相信新理论包括旧理论，新理论的产生要以旧理论为起点，要进一步推广；另一个是简单性原则，有的学者称其为"自然性原则"(袁运开：自然科学方法研究，华东师范大学出版社，1988年)，就是相信自然界是简单的、和谐的、完备的、合乎逻辑的，可以用最简单的语言来加以描述。

爱因斯坦一贯重视观察实验方法。他说："理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的真理性，也正在此"。建立狭义相对论，是从一个最平凡最简单的事实——同时的相对性问题出发的。当他进一步探索加速度的相对性时，他注意的是一个尽人皆知的，极简单的实验事实：惯性质量等于引力质量，也就是，在引力场中一切物体都具有同一加速度。他为这一古老实验事实的存在"感到极为惊奇，并猜想其中必定有可以更加深入地了解惯性和引力的钥匙。"

特别是爱因斯坦把理论方法和实验方法结合起来，为了便于理论研究，设计了"理想实验"。理想实验虽然也是建立在科学实验的基础上，但它又与真实实验不同，它是一种思想上的实验，是由人们在科学实验的基础上、在抽象思维中设想出来的实际上无法做到的实验。"理论实验"不仅比实际科学实验有更深刻的理解，还可以更进一步揭示出客观现象和过程之间存在的逻辑联系，并由此得出重要的结论。在创建狭义相对论时，1906年爱因斯坦设计了一个"假想实验"，即爱因斯坦箱子。在建立广义相对论时，他提出了自由下落的升降机的"理想实验"，起了重要作用。

爱因斯坦在运用数学方法方面，也给科学研究工作者树立了榜样。他不仅自己通过数学方法获得了质能关系式，还与数学家合作探讨广义相对论的场方程数学形式，并取得了丰富的成果。同时，他还把数字中公理化方法成功的运用于建立相对论之中。狭义相

对论的两个公式即相对性原理和光速不变原理，广义相对论中的等效原理和广义协变原理，都说明，当一门科学积累了相当丰富的经验知识，需要按逻辑顺序加以综合整理，使之条理化，系统化，上升到理性认识的时候，公理化方法便是一种有效的手段。

爱因斯坦有超人的逻辑思维能力，特别是创造性的思维能力。任何一种科学的理论都表现为一种系统的逻辑体系。相对论的发展过程，就是沿着由简单到复杂，由低级到高级，按着内在的逻辑必然性，如此精确的从一个结论得出另一个结论。创造性思维是以实验为基础，运用辩证逻辑方法，获得创造性的科研成果。

爱因斯坦的丰富想像力，是创造性思维的具体表现。他创立相对论那一系列著名理想实验就是富有独创想像力的很好例子，他曾说过：我急于要请大家注意到这样的事实，这理论并不起源于思辨，它的创造完全在于想要使物理理论可能适用于观察到的事实。

人们的认识从现象到本质，不是直线式完成的，往往既有长时期的准备和积累，又有短时间的攻关和突破；既有经久的深思，又有一时的顿悟。例如爱因斯坦从十六岁开始就思考有关相对论的一些问题，沉思了十年，在二十六岁那年，即 1905 年 3 月到 9 月就完成了四项重大科学成果：布朗运动研究；提出光量子论；创建狭义相对论；发现质能关系式。兰佐斯说过，其中每一项，爱因斯坦都应该获得诺贝尔奖金。这就是短期的突破。而这种突破没有创造性的思维是办不到的。辩证唯物主义者并不否认这种“灵感”成为一种思维运动中的飞跃，它是思维运动本身的辩证性质所决定的。

创造性的思维能力来源于“灵感”，也来源于批判的革新精神。爱因斯坦认为，怀疑的批判精神，对科学的发展是很重要的。他写道：“像目前这个时候，经验迫使我们去寻求更新，更可靠的基础，物理学家就不可以简单地放弃对理论基础作批判性思考。”他不迷信权威，他肯定牛顿又不停留在牛顿的水平上。他说得十分恳切：“牛顿呀！请原谅我：你所发现的道路，在你那个时代，是一位具有最高思维能力和创造能力的人所能发现的唯一道路，你所创造的概念，甚至至今仍然指导着我们的物理思想，虽然我们现在知道，如果更深入地理解各种联系，那就必须用另外一些离直接经验领域较远的概念来代替这些概念。”

爱因斯坦的科学成就及其对人类和平、自由的向往与追求赢得了知识界的高度好评。“文化大革命”时期在我国虽也有对他多是来自外行的批判，但批判仍主要局限于科学哲学方面，近年来有一些关于其家庭、婚姻感情等方面的文章使人感到他似乎不那么完美了。事实上使爱因斯坦完美化的并不是他本人。他在为别人撰写的《爱因斯坦传》作序时就明确指出：“我觉得这本书从头到尾所讲的故事都是相当确凿的……被作者所忽视的，也许是我性格中非理性的、自相矛盾可笑的、近乎疯狂的那些方面。这些东西似乎是那个无时无刻不在起作用的大自然为了它自己的取乐而埋藏在人的性格里面的。”可见，他对自己认识非常客观，并没有将自己看做一个完人。我们应该学习他、敬仰他，但永远不要忘记他不是神而是有血有肉、与我们一样有七情六欲的人。

（以上关于爱因斯坦的内容，主要参考辽宁教育出版社 1988 年出版的谢邦同先生所著的《世界近代物理学简史》一书。由于本书在引用时有所增减，观点与原书不同处，文责在本人。）

3.8 麦克斯·玻恩——令人回味的大师

3.8.1 生平简介

著名物理学家麦克斯·玻恩(Max Born),1882年12月11日生于德国的布雷斯劳(该地现属波兰),1970年1月5日逝世于哥廷根。

玻恩同爱因斯坦一样也是犹太人,父亲曾在布雷斯劳大学教授解剖学。玻恩很小时就常和姐姐到父亲的实验室里去,后来还被允许去听父亲和朋友们的讨论,这些无疑为玻恩的成长提供了良好的科学氛围。

1901年玻恩进入布雷斯劳大学,开始学习拉丁文、希腊文和数学,但他更爱读荷马史诗。遵父嘱不立刻确定专业而听不同学科的演讲,听科学课、哲学课和艺术史课等。最初最感兴趣的是天文学,但由于学校天文台的设备少得可怜,因此不久就厌倦了。继而集中精力钻研数学,打下了扎实的数学基础,从罗桑斯教授那里学到了矩阵理论。利用假期到苏黎士,从数学家胡尔威兹那里,了解了数学的现代分析精神。

1905年,玻恩去哥廷根"朝圣"。在哥廷根,他主要师从希尔伯特和闵可夫斯基。不久,即成为希尔伯特的私人助理,有更多的机会同数学大师交流,不仅学习了包括物理学的数学,还学到了大师对社会和国家的传统制度的批判态度。玻恩不喜欢克莱因的演讲,因此两人关系不大愉快。玻恩不敢冒险学习克莱因的几何学而又转学天文学,师从天文学教授卡尔·施瓦尔兹茨奇尔德,在他的帮助下,1907年获博士学位。

在哥廷根,值得一提的是玻恩听了理论物理学家沃尔德玛·福格特的光学演讲,并选了他的光学实验方面的高等课程。这为玻恩后来从事光学研究并撰写几部著作打下了基础。

毕业后,玻恩必须服一年兵役.由于身患严重的气喘而短期即退役。在服兵役期间,晚上在马厩值勤时,他就以马背做书桌,在艰苦的环境下仍勤奋钻研。之后,为了更多地学习物理,玻恩去英国剑桥大学六个月,在其他方面收获甚微,但J·J·汤姆孙的实验给了他极深的印象。

从英国归来,玻恩回到家乡母校布雷斯劳大学,试图提高自己的实验技巧,但没能达到目的。因此又转而研究理论问题。这时他接触到了爱因斯坦的狭义相对论。玻恩把爱因斯坦的思想和闵可夫斯基的数学方法相结合,发现了一个新的直接计算电子的电磁能的方法。他把文稿送给了闵可夫斯基,闵可夫斯基立即邀请他去哥廷根共同做相对论方面的研究工作。

1908年12月,玻恩到了哥廷根。但1909年元月闵可夫斯基即去世了。正当玻恩一筹莫展之际,福格特教授向他提供了一个讲师的职位。从此,他与奥多尔·冯·卡曼住在同一幢房子里,两人经常讨论物理问题,在讨论中接触了爱因斯坦的固体热容量理论,两个人合作发表了著名论文"关于空间点阵的振动"。

1909年,在萨尔茨堡会议上,玻恩结识了爱因斯坦,从此两人开始通信。1969年,慕尼黑出版了由玻恩编辑并注释且有海森伯和罗素撰序的《爱因斯坦和玻恩夫妇通信集》,全书117封信函凝结了两人的终生友谊。

1914年,柏林大学为玻恩提供了一个教授职位,以分担普朗克的一部分工作。1915

年春，他迁往柏林工作，但很快由于战争而被迫参军，在一个炮兵研究机构声学测位部门工作，一有时间，仍从事纯科学研究。在马德隆的帮助下，和兰德成功地完成了离子性晶体内能的测定工作；与化学家哈伯一起，设计了玻恩-哈伯循环过程，从而能根据纯物理数据测定化学反应热。

当时，劳厄在法兰克福任教。为了方便与其老师普朗克接近，他建议同玻恩对调。因此，1919 年玻恩到法兰克福任教授，继续从事点阵能量及其化学结论方面的研究，并和学生 P· 勒尔特斯合作，在实验上证实了分子的电偶极子力学效应。1921 年，玻恩被提议接德拜的班，出任母校哥廷根大学物理系主任。在母校，他从 1921 年一直工作到 1933 年。在这期间，哥廷根不仅是世界数学研究中心，而且被玻恩建设成为物理学研究中心之一，与柏林（普朗克和爱因斯坦）、慕尼黑（索末菲）和哥本哈根（玻尔）并列，形成哥廷根学派，许多物理学家均受益于此，如泡利、海森伯、约当、狄拉克、维格纳、罗森菲和加莫夫等等。

1933 年纳粹上台，玻恩被迫离开德国。1933—1936 年，在英国剑桥大学任教。在这之后，玻恩到印度工作了半年。再之后，接替 C·G·达尔文任英国爱丁堡大学教授，直到 1953 年退休。退休后不顾爱因斯坦等朋友的不满回到他钟爱的德国定居，继续从事科学和写作活动，主要研究物理学的哲学含义，直至逝世。

玻恩终生未曾到过中国。但玻恩在书中[1]曾特别谈到他有四个有才华的中国学生，并指出了黄昆的名字，还提到了与黄昆合作著书一事。本文作者曾通过中国科学院吴水清老师间接向黄老请教另外三个人的名字。黄老百忙之中回函告知另外三人是彭桓武、程开甲和杨立铭先生，都是有成就的物理学家。

3.8.2　玻恩的研究工作大略

玻恩一生取得了丰硕的学术成就，发表论文 300 余编，出版著作近 30 部。主要著作有《固体的原子理论》（1923 年）、《原子动力学问题》（1926 年）、《爱因斯坦的相对论》（1926 年）、《物理学实验与理论》（1943 年）、《因果性和机遇的自然哲学》（1949 年）、《晶格动力学》（1954 年与黄昆合著）、《我们这一代物理学》（1956 年）、《光学原理》（1959 年）、《物理学与政治学》（1962 年），等等。玻恩取得巨大的科学贡献与他在自己科学生涯中形成的极富个性的研究方法密不可分。正如英国皇家学会出版的《传记报告》所说，玻恩的科学研究的方法是：正视问题的全部复杂性，设想出一个具有适当普遍性的数学公式，然后落实到简单的、便于处理的、而且常常是在物理上较为有趣的若干实例上。

玻恩主要的研究领域是点阵动力学和量子力学。在点阵动力学领域，他以微观点阵动力学观点来阐明晶体的热学、介电及光学性质，创立了独树一帜的玻恩学派。在该领域，以其名字命名的理论或方法有：玻恩-冯·卡曼理论、玻恩-哈伯理论、玻恩-奥本海默法、玻恩-奥本海默近似法、玻恩—梅耶方程等。玻恩在这一领域的研究始于 1912 年，几乎贯穿其一生，其功至伟。著名物理学家、诺贝尔奖获得者尼维尔·莫特在玻恩《我的一生》一书序中说："无论怎样考虑玻恩的工作，在我看来，他对晶体物理学的巨大贡献（这是他独立完成的）本身就是诺贝尔奖水平的成就，如果没有玻恩，这些工作恐怕还要等上 10 年或更多时间。至于谈到量子力学，玻恩的工作的重要性还要大一些。"

是的，玻恩是量子力学的重要奠基人之一。量子力学的矩阵理论也被称为哥廷根矩阵力学。但关于矩阵力学的形成过程，不同文献的叙述大有出人。本文作者经大量比较分析认为，曾师从海森伯的王福山先生的表述[2]是详尽和令人信服的：1922 年 10 月，海

森伯在玻恩那里开始他新的工作。1924 年复活节,他第一次去哥本哈根,但不久就回到了哥廷根。1924 年 7 月 28 日,海森伯用"关于量子论的形式规律在反常塞曼效应问题上的更改"一文晋升讲师。同年 9 月他作为研究伙伴到哥本哈根去了一个学期。1925 年夏季学期,他又回到哥廷根,继续从事量子论的研究。1925 年 5 月底,生了枯草热病,他特向玻恩告假去赫尔兰岛治疗。一个多星期即返回哥廷根,途经汉堡时他把他新产生的思想告诉了泡利(会见仅数小时,当时泡利在汉堡工作)。泡利给了他许多鼓舞。7 月 11 日将论文"关于运动学和力学关系的量子论解释"交给玻恩,7 月 28 日由玻恩送交《物理纪事》发表。

玻恩后来回忆说:"当时海森伯的乘法规则使我不安,经过八天的冥思苦想,我回忆起在布雷斯劳大学时从师罗桑斯教授学到过的代数理论。"[3]这就是当时已创立 70 多年的矩阵理论。为了对海森伯论文所运用的数学方法给以严密的论证,玻恩希望泡利同他合作。但被誉为"物理学心脏"和"上帝的鞭子"的泡利拒绝了玻恩.泡利认为用繁琐的数学只会损害海森伯杰出的思想。玻恩没有放弃,1925 年暑假,他从哥廷根去汉诺威,在火车上他遇到了约当。在玻恩的提议下,约当表示愿意协助玻恩工作。9 月他们就完成了长编论文"关于量子力学"。在该文中,他们不仅采用海森伯的方法把坐标 q 用矩阵表示,而且进一步把动量 p 也用矩阵表示,从量子化条件出发,利用对应原理,得出了对应关系:

$$pq - qp = \frac{h}{i}\boldsymbol{I},(\boldsymbol{I}\ 为单位矩阵)$$

玻恩在 1950 年的一次演讲中说到:"我决不会忘记,当我成功地把海森伯关于量子条件的观念凝缩成一个不可思议的方程 $pq - qp = \frac{h}{i}\boldsymbol{I}$,($\boldsymbol{I}$ 为单位矩阵)时,我所感受到的震动,这方程是新力学的中心,而且后来发现,它暗含着测不准关系。"(玻恩著,侯德彭、蒋贻安译:《我这一代的物理学》,商务印书馆,1964 年)

物理学史上常常有很多错误的认识,如杨振宁先生虽然在一编文章的注释中指出海森伯由于数学知识不够未能得出上式,但在正文中仍然说"海森伯最重要的贡献是海森伯方程(即上式,本书作者注),是量子力学的基础……达到物理学的最高境界。"(《物理》,2002 年 4 期) 可见此看法在物理界多么习以为常,对玻恩来说多么不公平啊!玻恩的被忽视不仅在这一方面,在前文提到的莫特就承认,他在几十年时间里(玻恩 72 岁荣获诺贝尔奖以前)不知道波函数的统计解释是玻恩第一个提出的,因为人们习惯错误地称其为"哥本哈根解释"!物理学史家派斯对此也深为不解:"有点奇怪的是——这使玻恩有一些懊恼——他的论几率概念的论文在早期总是不能被充分地认可。"别人也就罢了,"海森伯自己对几率的解释(1926 年 11 月写于哥本哈根)就没有提到玻恩。"(阿伯拉罕·派斯著,关洪等译:《基本粒子物理学史》,武汉出版社,2002 年,第 326 页)

1925 年 10 月底,玻恩和约当继续研究,并且靠通信同海森伯合作,以"玻恩、海森伯、约当"三人名义完成题为"关于量子力学Ⅱ"的论文。该文最早给出了量子力学在解决实际问题时实用的微扰论,奠定了以矩阵形式表示的现代量子力学基本原理。

1925—1926 年的冬天,玻恩赴美国麻省理工学院讲学,同诺伯特·维纳这位后来的控制论之父合作,把算符引进到量子力学,证明了哈密顿算符 $\hat{H}$ 与 $\frac{h}{i}\frac{\partial}{t}$ 完全相同。

1926年,玻恩发表"散射过程的量子力学"一文,认为薛定谔波动力学的数学形式不仅适用于分立定态,也能胜任对散射过程的描写。在用平面波描写入射的粒子束,用球面波描写散射粒子的渐近行为之后,玻恩提出,如果用粒子的语言表述,球面波项的散射振幅因子表示入射的粒子以不同方向射出的几率。所以"我们得出的不是对'碰撞后的状态是什么'这一问题,而只是对'碰撞后的一种指定结果有多大可能'的问题的答案。"[4]稍后,玻恩更加准确地提出:代表测量到粒子的几率的,是波函数的绝对值平方,而不是同散射振幅相对应的波函数本身。由于有了玻恩的统计解释,薛定谔的波动力学才被普遍接受,成为与矩阵力学相并列的量子力学的另一数学表达形式。玻恩也因提出波函数的统计解释而荣获1954年诺贝尔物理奖。

就玻恩的一生工作,本文作者也曾希望黄昆前辈给个权威评价。黄老说:"对玻恩这样国际上的大师是不宜随便评价的。"黄老的不随便评价,本身就是一种极高的评价。就对物理的贡献而言,玻恩同玻尔、海森伯、狄拉克以及薛定谔等相比,毫无逊色之处,是20世纪物理界举足轻重的一流大师。试想,没有玻恩的贡献,不谈其他,量子力学还剩下些什么?

3.8.3　*成功的启示*

在玻恩极其成功的一生的后面,有许多能给予后人启迪的东西。

3.8.3.1　为人谦逊诚实

玻恩是一个非常谦逊而有平常心的人。请听他的话:"生活中的成就和胜利,在很大程度上依赖于好运气。就我的双亲,我的妻子,我的孩子,我的老师,我的学生和我的合作者来说,我是幸运的。"[1]不仅如此,他还说过:"我从来不愿当一个专家,因而始终是半瓶醋,甚至在被认为是我自己的专业方面也是这样。"[1]很难想象还有哪位大师会如此评价自己。

玻恩不仅谦逊而且诚实。薛定谔波动力学提出后,包括他本人在内,都没能给出波函数合理的解释。玻恩又一次拨云见日地给出了统计诠释。但他却公开表白:"爱因斯坦的观点又一次引导了我。他曾经把光波振幅解释为光子出现的几率密度,从而使粒子(光量子或光子)和波的二象性成为可以理解的。这个观点马上可以推广到 φ 函数上:$|\varphi^2|$ 必须是电子(或其他粒子)的几率密度。"[5]

显然,玻恩是一个自己不为自己制造却不断从自己头上摘脱光环的人。他不像有的人,精心包装自己,使自己神秘起来,变成高深莫测的、有地位的、引人注意的权威。因此,他才没有任何负担,能够更加专心、更加快乐地沉醉于科研,成为硕果累累的丰收者。

3.8.3.2　醉心研究境界高远

爱因斯坦曾将科学家依其从事科学研究的目的分为四类:第一类人爱好科学,是因为科学给他们以超乎常人的智力上的快感,科学是他们自己的特殊娱乐,他们在这种娱乐中寻求生动活泼的经验和雄心壮志的满足;第二类人之所以把他们的脑力产物奉献在祭坛上,为的是纯粹功利的目的;第三类人研究科学为的是逃避日常生活中令人厌恶的粗俗和使人绝望的沉闷,是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏;第四类人献身科学的目的是以最适当的方式来画出一幅简化的和易领悟的世界图像。

一个科学家对科学的强烈兴趣,很大程度上可以决定他的成功,而境界则能决定他的成就的层次。谈到研究工作,玻恩说:"我一开始就觉得研究工作是很大的乐事,直到今

天,仍然是一种享受。这种乐趣有点像解决十字谜的人所体会到的那种乐趣。然而它比那还要有趣得多。也许,除艺术外,它甚至比在其他职业方面创造性的工作更有乐趣。这种乐趣就在于体会到洞察世界的奥秘,发现创造的秘密,并为这个混乱的世界的某一部分带来某种情理和秩序。它是一种哲学上的乐事。"[1]玻恩非常重视哲学,他曾说:"科学的哲学背景始终比科学的特殊成果更使我感兴趣。"[1]切身的体验使他认识到:"…每一个现代科学家,特别是每一个理论物理学家,都深刻地意识到自己的工作是同哲学思维错综地交织在一起的,要是对哲学文献没有充分的知识,他的工作就会是无效的。在我自己的一生中,这是一个最主要的思想……"[1]他有说有做:"我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作,发现了许多有启发性的思想,但是没有朝着更深刻的认识和理解稳步前进。然而科学使我感觉到稳步前进。我确信,理论物理学是真正的哲学。它革新了一些基本概念,例如,关于空间和时间(相对论),关于因果性(量子理论),以及关于实体和物质(原子论)等等,而且它教给我们新的思想方法(互补性),其适用范围远远超出了物理学,最近几年,我试图陈述从科学推导出来的哲学原理。"[1]

玻恩研究哲学而对物理学的最大贡献可能是他提出的可决定性(decidability)这一基本原则,"只要某个概念是可以决定的就运用它,而不管它在某个特殊事例上能否应用。"[1]在文献[1]中,玻恩通过这--原则在狭义相对论、广义相对论和量子力学中的应用,充分说明了这一原则的力量和丰富性,并指出把可决定性原则应用于客观世界图景的起源这个哲学问题是合理的,且做了详尽的论述。遗憾的是玻恩的这一重要思想未引起人们足够的重视。

3.8.3.3 *数学功力卓而超群*

前文提到,玻恩在大学阶段就师从罗桑斯教授学到了物理学家们很长时间不熟悉的矩阵理论。在苏黎士通过听胡尔威兹关于椭圆函数的演讲,了解了现代分析的精神。哥廷根一直是世界的数学中心,在这里玻恩师从希尔伯特、闵可夫斯基和克莱因等数学大师,这无疑有助于玻恩的数学功力更上一层楼,远远超过了同时代的多数物理学家。这使得他在后来的研究工作中受益无穷,应用数学解决物理问题游刃有余。

当然,在物理界也有不同看法。据彭桓武先生讲:"玻恩的老朋友埃沃德访问都柏林时对我说'玻恩过于形式'。指的是玻恩擅长数学推导而物理直观可能弱些."[6]而事实却未必如此。玻恩虽是理论物理学家,但他很懂实验,在他自己家里就备有车床。而且玻恩非常重视物理直观、物理思想。他明确表白:"我们科学家始终应当记住,所有经验都是根据感觉来的。一个沉浸在他的公式里的理论家,忘记了他要说明的现象,就不是一个真正的科学家,真正的物理学家或化学家;而如果他钻在书本里,同自然界的美和多样性疏远起来,我就会称他为可怜的傻瓜。现在我们在实验和理论之间,在感觉的实在和理智的实在之间有一种合理的平衡,我们务必要将它保持下去。"[1]如此,说"玻恩过于形式",可能是将其优点看成了短处。如果没有玻恩出色的数学功力并投身其中,矩阵力学不会那样快地在一年左右时间里完善起来。

20世纪,哲学、数学和物理学之间已空前地纠缠不清,数理逻辑成为哲学的重要领域。在德国的哥廷根,希尔伯特、闵可夫斯基和克莱因主张数学家和物理学家结合起来一同研究物理。他们认为物理学家需要数学家的协助。希尔伯特还同玻恩联合组织过物理学家和数学家参加的名叫"物质结构"的讨论班。

他们是明智的，他们的思想是物理界的福音。缺乏了这种数理互动，今天数理之间隔行如隔山的情况会更加严重。1980年，杨振宁先生在韩国汉城演讲时说："有那么两种数学书：第一种你看了第一页就不想看了，第二种是你看了第一句就不想看了。"这就是今天物理学家眼中的纯数学：从头到尾都是定义、定理和推论式的纯粹抽象演绎，生动活泼的实际背景淹没在形式逻辑的海洋之中，结果使物理学家摸不着头脑，对现代数学缺乏应有的了解。现实使物理界人士清楚地认识到物理专业的数学课程有必要进行适当的改革。但如何改？改什么？只有数学家和物理学家再次密切合作，才能改好，才能造就更多的玻恩。

3.8.3.4 关心人类 关心未来

玻恩像热爱科学一样热爱和平，珍重人类创造的历史文明和优良传统。他那个时代的一些社会现象使他断言传统的伦理因技术而瓦解。他说："虽然我热爱科学，但是我感到，科学同历史和传统的对立是如此严重，以至它不可能被我们的文明所吸收。"[1]他认为："如果人类没被核战争所消灭，它就会退化成一种在独裁者暴政下的愚昧的没有发言权的生物，独裁者借助于机器和电子计算机来统治他们。"[1]他写过许多这方面的文字，可以看出他对人类社会的未来是非常绝望的。他曾用"还有什么可以希望的呢"为题的一节作为文献[1]的结尾。当然，他不愿这一切成为现实："但是，我的推理也许完全错了。我希望如此。也许有朝一日有一个人显得比我们这一代人中的谁都聪明能干，他把这个世界引出死胡同。"[1]"希望还是有的，但是这种希望只有在我们不顾一切、全力以赴投入这场反对我们时代的疾病的斗争中去的条件下，才能实现。"[1]

玻恩，就是这样一个人，继承了人类历史文明中许多优良的成分，又成为20世纪现代科学的一位大师，在良知的驱动下，他积极关注人类社会问题，关心现实，关心未来。

周光召先生曾把我国物理界同20世纪20年代德国物理界作过比较，认为当时德国物理界取得辉煌成就的条件有三：首先德国人非常重视实验和实验数据分析；第二德国有很强的数学传统；第三德国有非常强的哲学传统。周先生指出："必须研究哲学，因为现在的发展进入全新的阶段，物理学无论是凝聚态还是基本粒子都是无穷自由度的系统，跟过去讨论的少数自由度系统有本质的不同，这里肯定需要新的哲学思想和方法论的突破。这方面我们更弱……"[7]

周先生指出的三条，尤其后两条十分突出地体现在玻恩身上。有兴趣借鉴德国物理界这一时期成功经验的人，认真研究一下麦克斯·玻恩，定然大有裨益。

致谢 感谢黄昆老师的帮助使本人对玻恩有更多的了解，感谢至今尚未谋面但神交已久、给我很多关爱的水清先生。

参 考 文 献

[1]玻恩著，李宝恒译．我的一生和我的观点．北京：商务印书馆，1979．

[2]王福山．近代物理学史研究．上海：复旦大学出版社，1983，70－72．

[3]申先甲，张锡鑫，祁有龙．物理学史简编．济南：山东教育出版社，1985，768．

[4]关洪．物理学史选讲．北京：高等教育出版社，1994．338．

[5]郭奕玲，沈慧君．物理学史．北京：清华大学出版社，1993，314－315．

[6]彭桓武．现代物理知识，1995(2)：35．

[7]周光召．物理，2000，29：2．

（本文作于2000年，发表于2001年第Ⅰ期《物理》）

3.9 玻尔——量子力学领域的一位非凡领袖

3.9.1 生 平

尼耳斯·玻尔(1885—1962),丹麦著名物理学家。1885年生于哥本哈根。1903年就学于哥本哈根大学,1911年获博士学位。1912年春在曼彻斯特卢瑟福实验室工作,完成了α射线吸引的理论研究。在卢瑟福发现原子核的基础上,运用作用量子概念,成功地提出了原子结构的图像。于1922年荣获诺贝尔物理学奖。他还提出过原子核的液理论。在科学哲学方面,系统地阐述了互补原理。1962年逝世。他担任过丹麦皇家科学院院长、丹麦癌症委员会主席、丹麦原子能委员会主席,是英国皇家学会(伦敦)和皇家研究院的外籍会员。他的出版物都是论文集,有:《1913年~1916年原子结构论文集》、《光理论和原子结构》、《原子论和自然的描述》、《原子物理学和人类知识》、《原子物理学和人类知识论文续编》等。

3.9.2 家境与成长

尼尔斯·玻尔1885年10月7日在丹麦首都哥本哈根诞生于他的外祖父家。尼尔斯的父亲克瑞斯先·玻尔从小好学,曾自称酷爱科学是他的"一种本能"。他本来打算献身于生物学,但因接受别人的劝告改学了医学,并于1887年获得学位。但他一天也没有行医,而是转而研究起生理学来。在1881年和1883年先后两次到德国的莱比锡留学,获得了很好的成绩。他的主要工作在于,力图阐明支配着肺脏的呼吸作用的那些物理过程和化学过程。在这种工作中,他不但表现了实验工作所不可缺少的那种一丝不苟的作风,而且始终对现象的理论解释保持着浓厚的兴趣。他于1886年被聘为哥本哈根大学的教授,在那里积极参加了当时风靡欧洲的生物学中关于"生机(活力论)"和"机械论"的争论。他在关于生物机能的物理-化学过程的精密方面进行了杰出的研究工作,创立了一个很有成就的学派,他自己也成了国际知名的物理学家。

克瑞斯先·玻尔绝不是一个目光狭窄、思想固执的学究式的人物。他兴趣广泛,在哲学、政治、文学、体育等方面都有相当的修养。他在学校任教时结识了哲学教授赫弗丁、物理学教授克瑞斯先森等人,他们经常聚会,谈论各式各样的问题。他们的聚会起先是在咖啡馆中进行,后来感到不方便,改成轮流在各人家中,时间是星期五的晚上。当尼耳斯和他弟弟到了懂事的年龄时,他们就获得了旁听长辈谈论的机会。这种谈论中所提出的问题,往往是以克瑞斯先提出的精密科学知识为依据来进行分析的。因此,我们有理由相信,这些谈论从小就对尼耳斯起了潜移默化的作用,在很大程度上决定了他后来的思想发展。

尼耳斯度过了一个幸福的童年。他和姐姐、弟弟都在家中受到了很好的抚养和教育。他们从小受到父亲循循善诱的教导。他引导孩子们观察自然,并适当地把一些浅显易懂的科学道理讲给他们听,有时还给他们朗诵歌德的著作,或是讲述狄更斯小说中的故事情节。孩子渐渐长大,他又让他们旁听和朋友们的谈论,以帮助他们增长见闻,开拓眼界。这些做法大大促进了孩子们的智力发育,给他们后来的发展做好了准备。罗森菲耳德曾经指出,玻尔父亲那些有着准确科学依据的言论,比任何口头传授的传统哲学对尼耳斯的影响都深刻。

尼耳斯从小性情沉静，安稳平和，喜欢思索。他小时候喜欢机械装置，上小学时爱好木工和金工，他父亲曾经给他购置了木工用的工具和金工用的小车床。他特别擅长与别人合作，而且尊重别人的长处，从不忽略别人哪怕是最微小的贡献，从而总是给所有的合作者们留下最愉快、最亲切的回忆。

他从小还表现出一种认真细致的作风和综合概括的能力。当他刚刚三四岁时，有一次跟随着父亲散步，父亲把一棵树指给他看，并且用了对小孩讲话的口气描述那棵小树说，它有一根树干，树干上长着枝杈，枝杈上又长着小枝条，小枝条上又长着树叶，等等。于是小尼耳斯就说："是呀，不这样就没有树了呀！"当他 11 岁时，教师让班上的同学们看着一所房子作画。尼耳斯画了一半就停下来，走到房子前面去数篱笆上的木桩，因为他要把木桩也画得和实物一样多。这幅图画现在还保存着。

3.9.3　学习生涯

尼耳斯 7 岁入小学。到了高年级，他在科学方面的才能和理解力越来越突出地显现了出来。当时他的知识已经超过了所用的教材，他能发现教材上的错误或漏洞，而且常常很朴实地当众指出。他并不炫耀自己，认为坦率地指出缺点是理所当然的事。他的这种态度一直维持到大学毕业，一切都顺利正常，但这种态度后来使他在英国碰了一次钉子。

他的一位老同学曾经谈起，尼耳斯在小学和中学一直是一个思想敏锐的学生。当被教师叫到黑板前面去做习题时，他的思想常常来得太快，以至于来不及用板擦擦黑板，急得他用袖子抹，用指头涂，"结果他本人和黑板就变得不是十分干净了"。

尼耳斯·玻尔于 1903 年秋季进入哥本哈根大学的数学和自然科学系，主修物理学，兼修数学、天文学等课程。在大学中，他成了一个出类拔萃的学生。他通过非同一般的勤奋认真学习，为以后的发展打下了坚实而雄厚的基础。

按照当时的惯例，理科学生也要修习一些哲学课程，这也是合乎尼耳斯意愿的，因为他本来就对哲学有些兴趣。当时的哲学教授是和尼耳斯的父亲特别要好的 H·赫弗丁。此人在哲学方面也是一个全才，从伦理学、心理学到认识论，他都相当精通。他不重视科学体系的建立，而更重视哲学问题的提出。他的一句名言是："体系有兴衰，问题却常有。"所有这一切，都在尼耳斯的思想中留下了非常明显的痕迹。

丹麦最高学术机关的全名叫做"丹麦皇家科学—文学院"，共分自然科学和社会科学两个部分。这个学院按照惯例每年都公布各学科的有奖征文题目，有效期限为两年，入选的论文可得金奖或奖章。在该院 1905 年公布的一批题目中，有物理学方面的课题，应征论文集截止日期规定为 1906 年 10 月 30 日。应征文稿上不署作者姓名，而只准标上暗号，以保证评阅的公开合理。

按照惯例，应征论文的作者都是比较成熟的有经验的科学家，但是这一次，20 岁的大学生尼耳斯·玻尔却决定一试身手。当时哥本哈根大学没有适当的供学生使用的实验室，但是尼耳斯却有一个有利条件，因为他父亲是生理学实验室的主任。实验既费时间又要细心，做一次实验要若干小时。更成问题的是，实验越做下去，尼耳斯就要求越高，他总觉得实验还有改进的余地，于是就反复多次地实验，由于他父亲不得不强迫他赶快结束，以便留下一些时间整理数据和撰写论文。多亏他父亲的这次干涉，他的论文才在期限的最后一天勉强交了上来。

这次交的论文是由他弟弟代为誊写的，抄得字迹工整，分条缕析。文稿共计 114 页，

附图 19 幅，稿上作者暗号是 $\beta\gamma\delta$。到了 1906 年 11 月 2 日，作者又交了一份补充材料，这份材料共 11 页，是由他自己、他弟弟和母亲分头誊写的。

那一次应征的物理学方面的论文共有两编。另一编论文的作者是比尼耳斯大 11 岁的彼德森，此人后来于 1922 年就任哥本哈根大学的校长。他的论文是完全按照征文的要求撰写的，作者代号是一句题词"准备乃最差者"。他用了光学方法来测定波长，并通过测量液柱重量和长度测定了液柱截面。他不但研究水的表面张力，面且研究了甲苯、苯胺、氨和硫酸铜的水溶液以及乙醇和水的一系列混合物的表面张力。虽然所用的方法比较简单，得到的实验结果不是很精确，但是这编论文却被认为是完全合乎要求的。

尼耳斯·玻尔的论文情况不同。他只研究了水的表面张力，在这一点上，论文是不符合原来的征文要求的。但是这编论文别开生面，在许多别的问题上超过了征文的原始要求。作者的工作十分精细而彻底，所用的方法十分巧妙而精密，从面得到的结果也更加准确可靠。在实验中，各种可能的复杂因素都得到了适当的考虑，得到了不间断的和无扭曲的稳态水柱；在所研究的水柱段上，表面波也是非常规则的。征文题目本来只要求简单地应用瑞利勋爵的理论，面这编论文的作者却在自己的论文中考虑到液体的粘滞性和振幅的非无限小性而推广了瑞利理论。在这许多方面，他都表现出了引人注目的独创性，这种独创性在他后来的工作中也是随处可见的。

物理学方面的评阅人共有两名，一个是尼耳斯的导师克瑞斯先森，另一个是实验物理学家普瑞兹。他们经过反复的权衡，觉得两编论文都很优秀，而且各有千秋，难分伯仲。最后他们于 1907 年 1 月 22 日写出了评阅意见，建议同时授予两位作者以金奖和奖章。一个月以后，皇家科学院发出了授奖通知书。

尼耳斯·玻尔的获奖论文经过补充和翻译以后于 1909 年在英国的《皇家学会哲学学报》上用英文发表，其标题是《用水注振动法测定水的表面张力》。这是一编完全成熟的学术论文，谁也想不到它是一个青年大学生的作品。因此，当英国皇家学会的秘书拉摩尔为了商讨论文的内容面给尼耳斯·玻尔来信时，曾经完全不是出于客套地称他为"教授"。当时的拉摩尔是一个以知识渊博著称的学者，他的判断应该说是很有分量的。他在来信中转述了也很博学的兰姆教授对论文内容所提的意见，尼耳斯在回信中进行了答复，最后拉摩尔接受了尼耳斯的看法，在发表时没有对论文进行改动。

现在，当我们从物理学史的角度来考察这编论文时，除了作者的年轻和论文的成熟程度外，至少还有下列几点是特别值得注意的：①这是尼耳斯·玻尔正式发表的第一编学术论文；②在他一生撰写的所有论著中，只有这编论文叙述了他亲自做过的实验，从而成为他的唯一一编实验论文；③在这编论文中，讨论了别人用的"液滴法"测定表面张力的工作，这使尼耳斯·玻尔相当透彻地了解了"液滴"内部的物质运动情况，这种了解无意中为他几十年后关于原子核的研究工作打下了一定的基础。

1909 年，24 岁的玻尔获得哥本哈根大学硕士学位。1911 年又以《金属电子论的研究》一文获得哥本哈根大学哲学博士学位。他的博士论文的目的是努力建立起一种尽可能严密的、逻辑上合理的金属电子论，但由于种种原因，这一想法却长期被埋没没有实现。

3.9.4 科学生涯

玻尔于 1911 年夏季获得哥本哈根大学的哲学博士学位以后，得到卡斯伯基金会的资助，到英国留学 1 年。从此他和这个基金会结下了不解之缘，在他一生的几个关键时刻都

得到了这个基金会的慷慨支援。

玻尔于 1911 年 9 月底来到了举世闻名的学术中心剑桥。到后不久，他就去拜会了当时剑桥大学卡文迪许实验室的主任教授 J·J·汤姆逊。据说，在第一次见面时，玻尔就操着很不流畅的英语，打着手势把自己在论文中批评汤姆逊的地方指给汤姆逊看。这种可能不完全符合英国传统礼节的作法，很可能冒犯了汤姆逊这位英国绅士。但是玻尔当时却完全没有觉察到。

汤姆逊安排他去做那种他一点也不熟悉的实验，而且既不在具体的工作中帮助他，也不告诉他做这种实验的目的何在，以及这种实验做到什么地步为止。两个人很难找到时间交谈，而且每次谈话都不得要领。汤姆逊事实上是用一种巧妙的、暗示的办法拒玻尔于千里之外。

事有凑巧，正当玻尔处于这种无所适从的心境中时，当时在曼彻斯特工作、很有成绩的卢瑟福出现在他面前。1911 年 10 月间，卢瑟福到剑桥来参加卡文迪许实验室的年度聚餐会，那正是他由于刚刚证实了原子核的存在而声名大震的时候。他在剑桥受到了热烈的欢迎，在集会上发表了长编演讲，论述了自己的新发现。

这也许可以说是物理学史上并不多见的一次幸运的“机缘”吧，玻尔听了卢瑟福的演讲，他立即被卢瑟福的性格深深吸引了。按照罗森菲耳德的说法，很难找到两个同时代的人能像卢瑟福和玻尔那样在性格上形成鲜明的对照了。他论述说，卢瑟福是一个伟大的实验物理学家，他的根子是深深地扎在那“粗壮的”英国传统中的；而玻尔则是一个理论物理学家(虽然他曾经证实自己的实验才能也很高超)，他的根子是扎在主要由法国人和德国人发展起来的那种物理学传统中的，即随时能准备从每一种新的似乎无比精密地抽象演绎出它的逻辑结论来。卢瑟福性情豪爽，精力充沛，平易坦直，谈笑风生，常常大声地责备手下的工作人员，让他们加速地干活。他富于直观的洞察力，以“不喜欢理论”而著称；而玻尔则性情沉静，从不声色俱厉地对待别人，他演讲时声音很轻，边说边想，思想表达得周密而朦胧，听讲的人不坐在前排就听不清他讲的是什么话，而且就算听清了也往往弄不懂他的意思。在这些外表方面，他们二人的“反差”确实是很明显的。但是，这两个伟大的科学家肯定也有共同之处，而且这些共同点必然比他们那些“反差”更加深刻、更加本质，不然他们之间就不可能建立起那样持久、那样纯真的家人父子般的密切关系。其实，这些共同点是很鲜明的，例如，他们都有一种把整个身心投人工作中去忘掉一切的干劲；他们都很坦率，甚至近似天真；他们都很正直，有强烈的正义感，不求名利，最见不得那种江湖术士的高谈阔论；他们都有广阔的胸怀，不计较别人对自己的态度，而且没有架子，平易近人，对有希望、有前途的年轻人爱护备至；最重要的也许是，他们都把物理学看得比什么都宝贵。确实，当第一次见到卢瑟福时，强烈地吸引了玻尔的不仅是卢瑟福的那种爽朗的性格，而是他的具体的学术成就。从卢瑟福的言谈举止中，玻尔看到了他那快活的导师克瑞斯先森的影子。基于这种情况，他开始考虑转到曼彻斯特去追随卢瑟福。

通过劳兰斯密兹(玻尔父亲的好友，也是卢瑟福的好友)的介绍，卢瑟福欣然同意玻尔去曼彻斯特工作。玻尔于 1912 年 3 月间来到曼彻斯特。这在他的终生事业中是一个最有决定意义的转折。自从 1907 年卢瑟福到那里任教授以来，曼彻斯特大学的物理实验室已经成为研究放射性问题的学术中心。卢瑟福在那里聚集了一批最有才能的物理学家，其中包括盖革、马考沃马斯登、伊万斯、A·S·罗素、法扬斯、摩斯莱、赫维思、查威克、A·福

勒和C·G·达尔文。当玻尔到来时,卢瑟福等人已经确证了原子核的存在。虽然当时对于核电荷的正负还没有定论,但是很自然地可以想到它是正的。另一方面,正如康顿所描述的,既然J·J·汤姆逊"示意"让玻尔离开,他来到曼彻斯特也就成了一次幸运的命运安排。

玻尔一到曼彻斯特就受到了同情和鼓励。他很快在那里结识了一些很好的朋友,彼此终生来往,亲密无间。

如上所述,玻尔在他27岁的时候在英国度过了不到1年的时间。这是他一生中最关键、最重要的和最有决定意义的一段时间,而且他在这段时间内的经历和转变,也给20世纪物理学的发展带来了很幸运的结果。因此,有人曾说,玻尔的这次出国,恐怕是古今人类"留学史"上在那么短的时间内得到那么巨大的收获的一个绝无仅有的事例,而为此出国提供了资助的J·C·雅科布森也在这一方而为现代物理学立下了永远值得铭记的功勋!除了雅科布森以外,用了两种完全相反的方式来促进玻尔转变的,当然是两位杰出的物理学家,他们本人的研究工作在近代物理学史上是光焰照人的。他们就是具有绅士风度的J·J·汤姆逊和那豪爽能干的卢瑟福。

玻尔自己宣称在金属电子论领域中做过"大量的艰苦工作"。在他的博士论文中,他以一种青年的单纯心理批评了包括汤姆逊在内的一批著名学者。他大概指望那些受到批评的人们都表现得像他的哲学教师赫弗丁那样。事实上,他的这种指望在金斯等人那里可以说没有落空,那些人后来对玻尔一直十分友好,爱护备至。但是,看来他的最大希望还是寄托在J·J·汤姆逊身上的,不然他也许就不会选择剑桥作为他的"人生大道上的驿站"中的第一站。但是,他出师"不利",在这第一站上,他平生第一次领会到了生活并不永远是芬芳馥郁的玫瑰花坛!

J·J·汤姆逊到底是在一种什么样的心情和思想的指引下才给予了玻尔那样的"接待",我们今天自然是无从确证的。如果我们推测,玻尔的直率批评引起了汤姆逊下意识的不快,从而他才有意或无意的冷淡了玻尔,那恐怕也不完全是无根之论吧?无论如何,不可否认的事实是:①汤姆逊将玻尔长期地放任自流(这本身就是非常失礼的行为);②他们二人话不投机,在学术上没有共同语言,甚至当玻尔举出数学证明来支持自己的看法时,汤姆逊也"环顾左右而言他"或不置可否;③玻尔满心想做点理论工作,汤姆逊却安排他去做实验,而关于实验的具体作法和长远目的却不做任何任何说明,更不给予及时的、必要的具体指导;④玻尔想找汤姆逊请教,却很难找,因为汤姆逊显得是那样的"忙";⑤另一方面,汤姆逊在表面上却又表现得是那样友好,还请玻尔去吃饭,等等。把所有这些情况联系起来,我们觉得这颇像一个很有城府的人的作法!

玻尔在大学中一直处于顺境,而当他满怀幻想地来到令人景仰的剑桥时却意外地碰了这么个冰冷的硬钉子,当时他的心情是可想而知的。假如不是感到毫无出路和完全失望,他未必离剑桥而另谋他图。"我想他们全都对我失去了信心……"这句话恐怕无意中流露了他本来打算隐瞒的心情——失望而又不平。玻尔,从上小学时就有一个做人的原则,剑桥的钉子似乎成了他终生的教训!后来每当提到汤姆逊,他总是只有赞扬而无批评,对于那几个月的剑桥生活,他也从来没有公开地抱怨过。而且后来他似乎再也是不那样直截了当地批评别人,尤其是不那样批评已经公认的大名家了。他也还和别人进行学术争论,而且有时争论得相当激烈,针锋相对,但是他的措词永远是委婉的,永不忘记赞扬

对方的学术成就,永远不忘记感谢对方的论点对他自己所起的启发作用。听了别人的学术演讲,他的"最严厉的"批评就是"很有趣,很有趣"。当在学术上提出自己的见解时,他总要声明:"这不是批判,而是学习"。以至使他的朋友们把这句口头禅印到了为他祝寿的小册子的扉页上。据说有一次听了一编演讲后说:"我们同意你的观点的程度,也许比你所想象的还要大!"但是,当他的学生在私下问他对那次演讲到底怎么看时,他却情不自禁地说:"他那完全是瞎扯!"毋庸讳言,这后一个例子简直有点"伪君子"的味道了。所有这一切似乎都表明,外来的打击伤害了一个纯朴青年的心,使他变成了一个讲究辞令的人。

另一方面,玻尔在曼彻斯特所遇到的,却完全是另一种情况。刚刚和卢瑟福谈了几次话,他就满怀信心地表示:"我在曼彻斯特将有很好的条件。"这一点也许并不说明什么问题,因为他在第一次会见汤姆逊以后也是满怀信心的。问题在于,他对卢瑟福抱有的信心得到了事实的充分证实。他在剑桥和曼彻斯特差不多各停留了 5 个来月,但是他在曼彻斯特却结交了终生的好友,而在剑桥所交的朋友则似乎寥寥无几。他在剑桥基本上没有在学术上做出任何成绩,而在曼彻斯特则不但写出了论文,而且酝酿了惊天动地的原子结构理论。他在曼彻斯特也做了实验,但是他把那种实验叫做"真正的工作",认为"每天都学到许多东西"。这里当然有卢瑟福的功劳,他甚至在休假时都为玻尔做好了安排,还经常到实验室来亲临指导。卢瑟福不是一个以理论著称的人,但他能够赏识玻尔的才能。人家说卢瑟福对玻尔有一种"偏爱",事实上玻尔也的确是他的一个最有出息的学生。正因如此,玻尔才对卢瑟福是那样的依恋、那样的敬爱。他们如同父子,一生在工作和学术上互相关心、互相帮助。在卢瑟福面前,玻尔恢复了他那坚持真理的天性,他不怕对卢瑟福表示不同的意见,而且往往畅所欲言地进行辩论,而他们的意见分歧有时竟以卢瑟福的让步而告终。但是这样的争论并没有影响却反而增进了他们的友谊,这在 J·J·汤姆逊那里恐怕是很难设想的。

一方面是 J·J·汤姆逊,另一方面是卢瑟福(以及更早一些的克瑞斯先森和赫弗丁),玻尔从这两个对立的方面学会了做人的方法。他后来动心忍性,成了一个极其平和、有很高智慧的伟人,这恐怕和他 1912 年在英国的感受不是没有关系的。特别是他学到了对待青年人的正确态度。他一生注意这个问题,和许多青年人相处得十分融洽:泡利之严苛,伽莫夫之诙谐,弗里什之机敏,普拉才克之散漫无羁,朗道之狂傲不逊,他都处之泰然,大而化之,在物理学史上留下了无数的佳话。这种情况,固然主要是由于玻尔的天性使然,但是卢瑟福的指点也起了相当的作用。例如,当伽莫夫正在研究 α 放射过程中的隧道效应时,卢瑟福让他带了一封信去见玻尔,信中说:"请注意这个小伙子,他是有两下子的。这可不是瞎说。你记得你去见 J·J·汤姆逊而他不肯听你谈论的情况。因此,请你务必听听伽莫夫的议论。"据说伽莫夫自称保存有这封信的副本。这一轶事再次说明,J·J·汤姆逊怠慢玻尔的事实,当时是众所周知的。

对于玻尔这样的不可多得的人物,J·J·汤姆逊的作法起了"苦其心志、劳其筋骨"的锤炼作用,起了"排斥力场"的作用;而卢瑟福的作法则起了"春风风之,夏雨雨之"的爱护培育作用,起了"吸引力场"的作用。在这两种力场的联合作用下,就把玻尔的志趣从金属电子论扭向了原子结构理论,而在学术发展方向上来了一个"大角散射"。

卢瑟福是汤姆逊的学生,在科学成就方面可以说有"出蓝"之誉,而在发现人才和培养人才方面,至少在对待玻尔这个问题上,则更不是汤姆逊所能望其项背的了。小说家大仲

马一生创作了几百部小说,但他最得意的成绩则在于"创造"了小仲马;科学家戴维一生有过许多重要的发现,但他最大的历史功绩在于"发现"了法拉第。如此说来,当我们评论一个历史人物的功过时,他本人的成绩固然是一个重要标准,而他是否能够知人善任,是否"慧眼识英雄",也是一个重要的一个标准呢!

3.9.5 领导国际科学研究

1912年9月玻尔回到哥本哈根大学任教。

1913年分3次在《哲学杂志》上发表了《论原子的结构和分子的构造》,科学史上称之为"伟大的三部曲"。1918年,玻尔开始筹建研究所。玻尔从1916年9月开始,在哥本哈根大学任新设置的理论物理学教授。起初他只有一间工作室,到了1920年初才有位秘书。随着他的理论工作的开展,他很快就迫切地感到需要有专用的实验室,以便在那里进行必要的实验来验证并发展他关于原子的结构及性质的想法。于是他在1917年提出了建立自己研究所的建议。他的建议得到了各方面的支持。在购买建筑用地方面,市政局给他一次又一次的优待,卡尔斯伯基金会提供了资助,玻尔的同学、实业家贝尔勒姆捐款8万丹麦克朗。

1921年3月3日,研究所落成典礼。玻尔在致词中说,一个从事并熟悉理论物理学方法的教师,如果他本人或他的同事们没有进行实验研究的机会,他也就不可能进行他的大部分研究。他表示,这个研究所将成为在丹麦传授和研究理论物理学的一个基地。实际上这个理论物理研究基地之所以成为一个国际性的研究所,是指它不仅在科研水平上是国际一流的,更重要的是为各国培养了一大批一流人才。

玻尔在他的研究所培养了一代又一代杰出的物理学家。玻尔领导这个研究所达47年之久,他大约培养了600名外国物理学家。在本世纪的20年代和30年代,量子力学开始兴起和迅猛发展时,哥本哈根研究所简直成了世界公认的"司令部",成了学者们悉心向往的学术乐园。特别是在作为量子力学最重要发源地的德国,青年人取得博士学位以后,总要千方百计地寻找一个到哥本哈根去"朝圣"的机会。每当量子物理学出现什么新问题、新概念或新理论时,人们一般就会在哥本哈根开会,大家互相讨论、分析和争辩,并听取玻尔的见解和泡利的评论。当时那里讨论会层出不穷,有时争论得非常激烈,事后回想起来,人们总是津津乐道,传为佳话。事实上,几乎没有任何一个量子物理学家不曾从哥本哈根得到直接或间接的启示,而玻尔这位"复活了的苏格拉底",也就成了科学国际化的最有名望的倡导者和实行者。在科学史上,哥本哈根研究所的功绩是显著的,甚至有人说:"这个研究所,后来成了柏拉图学园以后唯一最负盛名的研究中心。"

3.9.6 玻尔的哲学

在关于科学任务的叙述中,玻尔阐述了以下几个基本观点。第一,科学知识是从经验中来的,表达了知识来自经验的正确观点;第二,科学的任务是使经验条理化,即做出概括,构成规律,用实证主义的语言来说,他对经验作了不能容许的"超越";第三,传统的观点和理论,要随着经验的丰富发展而有所改变,不能用旧构架来束缚新经验,而要以新经验来修正旧构架,创造新原理和新概念。

科学的任务是既要扩大我们的经验范围又要把我们的经验条理化,而这种任务就表现在各种各样的彼此不可分割地联系着的一些方面。只有通过实验本身,我们才会认识到那些使人们能够对于现象的多样性有一个概括看法的规律。因此,当我们的知识变得

更加广泛时,我们应该经常有准备地期待最适用于整理我们经验的那些观点会有所改变。在这方面我们必须首先记得,一切新经验都是在我们习见观点和习见知觉形式的框框里显现出来的。与科学探究的各个方面相适应的那种相对显著性,依赖于被研究事物的本性。

他反对片面夸大观察过程中的主观性。物理学的目标是探索人类的经验这种认识,并不否认物理客观的实在性。微观客体的物理属性依赖于观测仪器的相互作用,其本身就是客观实在要素的新发现。

使量子理论区别于经典理论的一个最基本的经验事实,就是量子现象。在经典物理学中,研究对象和观察手段之间具有非此即彼的明显界线,二者是完全能够区分开来的。因此,被观察客体的属性不受观察手段的干扰。在量子理论中,由于作用量子的存在,使区分客体和观察手段之间的界线变得模糊起来了,仪器对客体发生了不可控制的作用。要严格地区分客体和仪器成为事实上的不可能。这种相互作用,对客体的属性发生影响。因此,观察仪器确定了我们观察客体时所处的条件。由此所观察到的现象,不是产生于孤立存在的客体,而是产生于客体和观察仪器之间的相互作用,即由客体和观测仪器所组成的那个整体。这种现象,玻尔称之为"量子现象的本质整体性"。

从经典物理学和量子物理学中的现象分析方面看,基本的区别就在于,在前一种分析中,客体和测量仪器之间的相互作用可以略去不计或得到补偿,而在后一种分析中,这种相互作用却形成现象的一个不可分割的部分。事实上,一种严格意义上的量子现象的本质整体性,在这样一种情况下得到了逻辑上的表达:企图对现象进行任何明确定义的细分,都需要一种实验装置上的和现象本身的表现不能相容的变化。

关键的问题正在于客体与观察仪器之间的相互作用。当我们进行一种追踪基本粒子运动的测量时,任何测量都会对现象的进程引起一种不可避免的干涉,从而就会包括一种决定于作用量子之量值的不确定因素。而由测量所引起的那种干扰,其大小永远是无法知道的。这样一来,在任何观察中,都不能断定现象的过去进程和未来进程之间的联系。而这种联系的破坏,也就是对历史进程的确定性的破坏,它使经典的因果关系丧失了适用的条件。玻尔多次提到因果描述必须由几率描述所代替,指的就是这种情形。这是同经典物理学截然不同的地方。

作用量子的不可分性,造成了客体和观察仪器之间的相互作用。在这种相互作用中,原子过程是不连续的,即显示出它的个性。这种性质由普朗克作用量子来表示,完全超出了经典理论意义之外,它蕴含着要放弃因果时空标示。在经典理论中,由于所观察的现象不受观察手段的干扰,因此,每一观察或测量,不受不同观察者的不同时空标示的影响,时空标示是有效的。但是,在量子理论中,现象的观察不能排除观察手段的干扰,不同观察都有不同的时空标示,这就必然影响到观察的结果。如果在量子领域中,我们按照经典理论的要求,坚持因果描述,消除一切外来的干扰,其结果是:任何观察都成为不可能,更严重的是,使时空标示失去了直接的意义。另一方面,如果我们为了使观察成为可能,承认客体与仪器之间的不可避免的相互作用,那么,体系的状态就不是单一的确定的,这样,通常意义下的因果关系就不复存在了。这就是量子理论中面临的二难推论的困难,它说明因果描述和时空描述是不可同时得到的。

玻尔认为,两种相互排斥的描述方式并不是逻辑上的矛盾。因为,它们是在不同的实

验条件下被观察到的现象。如果在相同的实验条件下出现互相排斥的结果，这倒要构成逻辑矛盾了。因此，他认为，由于实验条件的不同，相互排斥的现象不是矛盾图景，而是互补图景。1947年，丹麦政府决定授予玻尔宝象勋章。本来，这种勋章只能授予丹麦的王族成员，或外国元首，并要求受勋人有一个“族徽”，以表示高贵的身份。玻尔既然被授予宝象勋章，自然也要设计一个“族徽”的中心图案。这个设计工作，玻尔自己完成了。他采用了中国的“太极图”为“族徽”的中心图案，用“阴阳”表示互补关系，并在“族徽”上写着拉丁文的“箴言”：“互斥即互补”。意思是说，互斥并不是矛盾，而是互补。玻尔自1929年提出互补原理之后，在各次的演讲中，反复地阐述了他的“互补性”概念。他说：“原子物理学的一个最突出的特征就是在一些实验条件下观察到的那些现象之间的新颖关系，这些实验条件要用不同的基本概念来描述。事实上，当人们企图按照经典方式来描绘一种原子过程的历程时，所得的经验可能显示得是相互矛盾；但是，不论如何矛盾，它们却代表着有关原子系统的同样重要的知识，而且，它们的总体就是包揽无余地代表了这种知识。在这种意义上，这样的经验应该被看成是互补的。互补性这一概念不会使我们离开自然的独立观察者的地位，这一概念应该被认为是逻辑上表现了我们在这一经验领域中进行客观描述时所占的位置。

互补原理是：只有互斥知识的汇总，才能穷尽客体的全部知识。在这种互补中，要求无歧义地运用概念来描述现象。在这里，因玻尔注重排除逻辑矛盾，做到了在逻辑上的无歧义性，从而避免了陷入二难推论。前面所说的因果描述和时空描述不能同时兼得，就是因为二者是互斥的。在同一实验条件下，只能二者择一，不能同时出现；相反的，若是能够同时出现，就要产生矛盾了。如果不是同样的实验条件，而是两种不同的实验，即在一种实验条件下，表现出粒子现象，只能运用时空描述，而排斥因果描述；而在另一种实验条件下，表现出波动现象，只能运用因果描述，而排斥时空描述。从表现上看，这是极其矛盾的，但由于是两种不同的条件，所以并不出现逻辑矛盾，可以无歧义地分别用各自不同的经典概念。这就是一种新的描述方式，即互补描述方式。其意义是：一些经典概念的任何确切的应用，将排除另一些经典概念的同时应用，而这另一些经典概念在其中一种条件下却是阐明现象所同样不可缺少的。换句话说，无论不同实验条件下的原子现象表现得多么矛盾，每一种现象却都是明确定义了的，而且所有这些现象的总体就包罗了有关客体的一切可定义的知识；在这种意义上，这些现象必须认为是互补的。（选取于周振荣、赵天成编著：《西方著名科学家及思想方法论》，黑龙江科学技术出版社，1997，第337～360页）

3.10 W·H·布拉格

3.10.1 W·H·布拉格的科学生涯与科学贡献

威廉·亨利·布拉格（William Henry Bragg，以下简称WHB），1862年出生于英格兰坎伯兰（Cumberland）的韦斯特瓦德（Westward），1942年辞世于伦敦。他于1915年与其子W·L·布拉格一道荣获诺贝尔物理奖。

对于今天的许多人而言，WHB已是一个被历史尘封的人物。即使是一个学习并从事与物理专业有关工作的人，一般也只对其了解片言只语。现在的大学物理学专业教材中，只有在光学或固体物理中可能会出现“布拉格公式”，而实际上这个“布拉格”也是专指

W·L·布拉格而不是其父 W·H·布拉格。对 WHB 有稍多介绍的文献也往往不够确切。如文献[1]、[2]即错误地认为 WHB 提出了布拉格定律：$n\lambda = 2d\sin\theta$，实际这完全是其子 W·L·布拉格的功劳；而文献[3]则将 WHB 逝世日期错误地写为 1940 年 3 月 10 日；声誉较高的文献[4]也错误地认定该日期为 1942 年 3 月 12 日，而根据 WHB 女儿撰写的 WHB 的传记应为 1942 年 3 月 15 日。[5]历史有时是无情的，到 1970 年，当全世界的 X 射线晶体学研究者聚集起来庆祝 W·L·布拉格 80 岁生日的时候，"……他们在发言中几乎没有提到 W·H·布拉格"([5]，178)，"WHB 已经变成一个相当模糊不清的人物"([5]，177)。

然而就是这个 WHB，不仅荣获过诺贝尔奖，还荣获过皇家学会科普利奖章与功绩勋章……，不仅 24 岁就担任阿德莱德大学数学物理教授一职而且还曾荣任英国皇家学院常驻教授及戴维—法拉第实验室主任以及英国物理学会会长、英国政府科学顾问、英国学术协会会长及皇家学会主席……仅凭其取得的学术地位，WHB 就值得物理学史研究者对其予以充分注意和重视，其成功之路的特殊性更需要我们认真思索解读。

3.10.1.1　人生轨迹

WHB 一直是一个成绩优秀的好学生，自幼就体现出了极好的数学天赋。十几岁的 WHB 就喜欢安静，经常一个人看书或做事，不能与普通男同学打成一片，爱幻想，缺乏对自己喜爱的事情之外的活动的兴趣。在 WHB 的一生中，无论是一帆风顺还是身处逆境，他的这种性格特征都十分稳定地贯彻其中。他女儿在他的自传中说："……我不认为 WHB 追求亲密的友谊：他仁慈地看待世界，赞赏友好相处，然而却独自走自己的路。如果把亲密的家庭排除在外的话，他看上去好象不需要(与人)亲密；我想，他是过于羞怯而难以结交朋友。"([5]，172)　"他确实拥有与卢瑟福的伟大友谊，但这在很长时间里仅仅是一种科学上的友谊。"([5]，172)

1881 年 WHB 靠赢得的奖金进入剑桥大学三一学院。仍然喜欢数学课，但是"那段时间是孤独的，因为我一如既往，没有同伴。"([5]，22)　"我每天的整个上午。下午 5~7 点以及晚上有一小时都用来学习数学，然后就早早上床睡觉了。"([5]，23)　然而体育爱好丰富了他的生活："每天下午我要打一场球，通常是网球，或者是散步。我的网球技术相当不错，因此我总是发现有人等着同我一起玩。"([5]，23)

1885 年末，在去参加 J·J·汤姆逊的一个讲座时，WHB 从汤姆逊处知道澳大利亚的阿德莱德大学在招聘数学物理教授。WHB 问自己可否去争取，汤姆逊给予了肯定的答复。通过面试，WHB 获得了这一职务。1886 年 24 岁的布拉格教授来到了阿德莱德。

阿德莱德是 WHB 的福地。从 1886—1909 年，WHB 在阿德莱德几乎一切从零开始，自己制造仪器，边学边教，教学相长，获得了巨大的成功。他严格要求自己的学习和教学："在完全掌握某种新观点，将它简化精炼成他满意的逻辑形式，并以最简明的方式表达出来之前，他决不罢休。"([5]，31)　他很快就成为一位优秀的教授。1895 年当地的《南澳大利亚邮报》说："该教授在实验操作中的熟练和成功，他阐发一门深奥的科学分支的难点的极其简明的方法，给他带来了极大的声誉。"[6]在生活上，1889 年与格温结婚，以后两人一直相亲相爱，彼此忠诚地生活在一起。他曾被任命为澳大利亚科学促进会 A 部(物理学)主席，成为南澳大利亚当时唯一的物理学家。在阿德莱德，WHB 处于一个舒适的受人尊敬的地位。到 1904 年前后，WHB 开始了真正意义上的物理学研究工作，并由此与卢

瑟福、索迪等著名科学家建立了密切联系。截止到1908年他发表了十余编有分量的论文。1908年被聘为利兹大学物理学教授,1909年返回英国。

WHB人到中年(42岁)才开始真正有意义的改变其人生的物理学研究工作。这成为20世纪物理学的一个反常现象。但这种反常,结合WHB的成长背景来看,是有其必然性的。在剑桥大学WHB主要是钻研数学,他学到的物理学知识少得十分可怜。他说:"我是数学物理教授,但我从未学过物理,除了取得学位后的两个学期,我也没有在卡文迪许实验室做过物理实验。"([5],29) 在1891年11月23日他给别人的一封信中他说:"我至今尚未读完麦克斯韦的全部著作,我很惭愧在剑桥时未读过任何电学方面的书籍……"([5],31) 1927年他回顾到:"我没有受过实验室训练,我也没有接触过研究工作。实际上,我那时从未像现在所理解的那样研究过物理学。"([5],36) 有一件事足以帮助我们加深对当时的WHB所掌握的科学知识情况的了解:"有一件很没面子的事:有一次我问我的助手是否可以为一个实验搞到一些氯化钠,过后不久才发现这种物质原来就是普通的食盐!"([5],30)

1886年的阿德莱德大学仅有12年的校史。WHB面前的物理系规模很小,只有一个学生很多的初级班和一个由两个程度相当好的学生组成的小班。实验室里几乎没有什么仪器设备。这种状况对于一个成熟的物理学家成熟的教授而言可能是十分糟糕的。但对WHB却再合适不过,他成功地变不利为有利:这允许他有精力去自学物理理论,有时间到设备制造公司当学徒,学习使用车床并自己动手做实验仪器。从此,阿德莱德大学物理系和它的年轻的教授一同成长。在WHB的教学工作游刃有余后,好学的天性使他虽身处远离科学中心的澳洲,却一直热切地关注着欧洲科学的新进展,他就相关内容开设讲座,并尽可能地用他有限的设备重复前沿的实验,比如1896年他重复了伦琴1895年底发现X射线的实验。1899年WHB与其岳父天文学家皇家学会会员托德先生一起从事无线电报实验,并成功实现了无线电通信。

1903年WHB被认命为澳大利亚科学促进会A部(物理学)主席,他决定选择电子的发现和放射性现象做为主席致辞的内容。这引发了他关于α射线本质的兴趣,并以此为契机跨入物理学前沿领域。事实上,此前近二十年教学生涯也是他几乎从零开始的对物理专业知识和物理实验与科研技能的自我学习提高自我增强过程。阿德莱德相对轻松的工作环境既为他这种自我充电自我提高提供了可能,同时也极大地培养了他独立自主解决问题,独当一面领导一个科研教学机构的组织能力。在WHB极具个性特征的成长过程中,阿德莱德十分重要。在这里,他铸造了自己作为教授、科学家的基本素质、培养了自己的能力,也塑造了自己的科研信心并完备了自己的人格。在这以后,他就回到了英国,来到了利兹。

从1909年到1915年,WHB在利兹大学工作。但开始的几年是WHB终身难忘的孤独岁月。家人对利兹的环境不满;WHB自己的教学遇到了麻烦:利兹刻板的教学要求令他十分压抑,讲座进行得相当不好,他未能赢得这里学生的理解;在学术上因他坚持自己的X射线粒子说而与巴克拉(Barkla)教授的论战更使他的糟糕心境如火上浇油。在这痛苦的头几年(1910—1912),卢瑟福对他的友谊与理解,对WHB而言是莫大的心灵安慰。期间两个人之间信件来往有30余封,而且两人还经常会面。到1912年WHB与W·L·布拉格开始了卓有建树的X射线晶体学方面的研究,从此WHB才真正走出了阴影,截止到

1914 年上半年，这父子俩已完成了一流的后来获取 1915 年诺贝尔物理奖的研究工作。

1914 年 8 月第一次世界大战爆发了。战争中，他失去了自己的另一个聪明的儿子。WHB 关于 X 射线方面的研究也陷于停顿。1915 年他移居伦敦，任伦敦大学物理学教授。但战争期间，他与卢瑟福等人一道主要从事当时战争中需要的一些军事研究和管理工作（WHB 经历了两次世界大战并于第二次世界大战战事正酣时去世）。战争结束后回到伦敦大学继续他的 X 射线晶体学研究。1923 年被聘任为皇家学院常驻教授及戴维-法拉第实验室主任，在这里他工作至去世。1923 年的皇家学院由于战争的影响也由于前任老院长的年迈，已经大大地失去了活力，戴维-法拉第实验室也早已几乎废弃。经过 WHB 的艰苦工作很快学院就恢复了生机。1924 年 4 月，学院管委会成员在致 WHB 的信中写道："学院的每个部门都万象更新，它唯一的危险是创新过速……"（[5]，97）　自此以后，WHB 更多地从事科研的组织工作，科学的普及工作以及英国科学界代言人及领导者的工作。

3.10.1.2　科学贡献

WHB 的科学贡献及其对科学的影响，在物理学史界更是未曾得到全面的认识与充分的研究。

1. 1912 年以前的工作

1904 年在准备澳大利亚科学促进会主席致辞过程中，WHB 开始了对放射性现象尤其 α 射线行为的思考。他根据居里夫人所描述实验的结果，发现了一个问题：α 粒子比空气中的气体、原子更小，α 粒子在空气中穿行时一定会遇见成千上万的空气原子，它是怎样通过的呢？实验中，普通射线都随飞行距离增加而逐渐减少，而 α 粒子的确就像一颗子弹射人了一块木头，在飞行过程中强度并不减弱。WHB 经过思考认为："这个问题只能有一个答案，即 α 粒子必定穿过它所遇到的空气原子。肯定存在这样一种时刻，即两个原子——α 粒子和被穿过的原子占据同一空间。这与我所知道的所有学说正好相反……"（[5]，44）

刚巧这时 WHB 获一位友人的资助买了少量的镭，通过实验，他发现从镭源放射出的 α 粒子（氦原子核）有 4 种不同的射程。WHB 知道，这肯定是源于卢瑟福当时所说的四种放射性物质：镭、镭射气、镭 A 和镭 C（卢瑟福认为镭 B、镭 D 和镭 E 不放射 α 射线）。这时路过阿德莱德的索迪提示他，把镭源溶于水，可以把其他三种放射物质洗掉面只留下镭。WHB 依法行事，发现镭本身发射的 α 粒子是 4 种射程中最短的，这与他事先的看法相反，而且他与助手克里曼（R. Kleeman）博士还发现，去掉杂质的镭，放射性更强了。

1904 年 8 月 31 日，WHB 在致卢瑟福的信中说："……当然这些射线（指 α 射线和 β 射线）不是能量波而是粒子。我当然知道这与你的理论正好相反，但我想你会对我要告诉你的结果感到高兴……"（[5]，45）　10 月 23 日卢瑟福在回信中说："令我更感兴趣的是，我曾独立地思考过这个问题，并得出了非常类似的结论，但是（我）没有你的实验数据。我希望你尽快在《哲学思考》上发表你的工作……"（[5]，45）　20 多年后 WHB 在《物的本性》（英文名为："*Concerning the Nature of Things*"）一书中又十分详细地回顾这一工作并用卢瑟福原子有核模型对这一实验事实予以解释[7]。在 1907 年 12 月 17 日致卢瑟福的信中 WHB 又提出了 γ 射线的粒子性："我已经得到确切的实验证据，表明 γ 射线不是脉冲而是粒子。"（[5]，48）　这一时期的工作除形成他的放射线的粒子说，值得一提的还有他

与助手科里曼发现了被称为布拉格-科里曼经验定则的一条近似规律。1905年7月16日在WHB致卢瑟福的信中曾提到该定则:"我目前的想法是用我发现的定律推进研究工作,即原子(对射线)的阻滞力与原子量的平方根成比例。……我的总的想法是通过检测不同原子的吸收效应,解决分子和原子的结构问题。"([5],185)

WHB对放射线的研究尤其这一时期对α射线的研究在当时是绝对领先的。在1908年10月1日WHB致卢瑟福的信中,谈到了在实验中他发现用α粒子轰击原子时,出现了"径迹急转弯。"[8]同年6月盖革在文章中提到自己在实验中发现,α粒子被物质散射时,散射角与材料的原子量有关。这两个实验事实促使卢瑟福在该领域的研究在用闪烁法对α粒子记数的同时,采取原子量大的金做散射物。1909年3月盖革和马斯顿即观察到了α粒子大角度散射。WHB的前期工作对这一重大发现的积极作用不容忽视。再考虑到早在1905年WHB就发现的布拉格-科里曼经验定则以及他要"解决分子和原子结构问题"的动机,WHB没有提出原子有核模型真是一件令人遗憾的事。有核模型由卢瑟福于1911年提出,而这时WHB正处于他在利兹的艰苦岁月,与巴克拉关于X射线本质的争论耗去了他极大的精力,这可能也是他错过重大发现的主要原因。还有一件事情也可说明WHB在α粒子研究方面的造诣。C·T·R·威尔逊在其1927年诺贝尔奖获奖致辞时说:"我记得在获得α射线径迹的第一批好的照片以后不久,我拿了一张给W·H·布拉格看,他马上给我看了一张表明他所想象的α射线径迹的图。布拉格所想象的图与实际照片非常相像,真是令人惊讶!……"[9]

在这一时期WHB引人注目的另一贡献就是捍卫他自1904年即认识到的α射线、β射线的粒子性、1907年提出的γ射线的粒子性以及后来关于X射线的粒子性的理论。在与主要是巴克拉的学术交锋中,正如文献[4]所说他赢得了"……英语世界首先倡导X射线具有'量子'特性这一观点的人"的称号。在这一场学术斗争中,表面看来WHB似乎不识时务。因为这时,正如其子W·L·布拉格后来所说:"X射线的电磁本质获得了十分强有力的根据。当时,科学界普遍认为,这些根据已使这个问题得出确定无疑的结论。"[10]

α射线较早由卢瑟福证实是由α粒子即氦原子核组成的,其粒子性已不是问题。WHB通过实验发现γ射线的穿透力很强,就像硬X射线一样。WHB通过实验研究得出了一些γ射线的性质:

① γ射线散射时,前向散射远大于背向散射,而且射线愈硬,此种效应愈明显,这与电磁波散射情况截然不同。而如果γ射线是由粒子构成的,这种结果就是理所当然的。

② γ射线所产生的次级电子(β射线)主要是射向前方。与光束垂直的电磁波电场不会产生这样的结果。

③ β射线的能量表征γ射线的硬度,而不取决于射线束的强度。

④ 同样,当X射线电离气体时,电离是从气体原子被击出的电子所产生的次级效应,而不是X射线直接产生的效应。这些电子的能量只取决于X射线的性质。后来威尔逊证实了这一观点:"在有X射线照射的空气中凝聚的云雾照片清楚地表明,射线的初级效应是从射线路径上的原子中打出具有相当大速度的电子,电离是由于这些二次β粒子的作用而产生的,这与W·H·布拉格的结论相一致。"[9]

W·L·布拉格说:"这几个特点似乎完全否定了射线的波动本质。如我父亲所说的,如果我们假定射线是波,那就好比是说,将一块木板从一百英尺的高度投入海中,所激起

的波浪向周围荡漾,波涛在任何地方不起什么作用,只是在某处(不论远近)一只木船上的一块木板抛起,而且恰好抛到一百英尺的高度。这就似乎不得不下这样的结论:一束γ射线或者一束X射线将它的全部能量传递给某一特定电子,而这就意味着一个投射粒子直接碰撞电子。因此,我的父亲推论γ射线和X射线是物质粒子,且认为它们之所以具有高度穿透本领并在磁场中不会发生偏转,乃是因为它们是中性粒子,所带正电和负电相等。"([10],10)

在电磁场的量子性以及微观领域的波粒二象性被广泛接受之后,再看当时的争鸣,没有失败者,双方都是对的,都只坚持了真理的一个方面。不过WHB到1912年已经认识到问题"不在于(微粒和波动)哪一种理论对,而是要找到一种理论,能够将两方面包蓄并容。"[11]"布拉格的思想对后来的德布罗意有一定影响。"[12]

2.1912—1914年的研究工作

WHB这几年的工作是与儿子W·L·布拉格合作完成的,这段时间的工作到1915年就获得了诺贝尔物理奖。由开始研究到获奖,其间隔之短也是十分罕见的。

关于这父子的合作情况,文献[5]的作者说:"这是两种才智的精彩合作:W·L·布拉格提供思想;WHB使这种思想得以检验和应用。如果没有WHB发明的分光计,W·L·布拉格的思想(其他人也正在探索这些思想)或许永远也不会像实际那样,取得丰富的成果。而且,正是通过WHB的专业建议,晶体结构研究在英国跃然领先,而不是在冯·劳厄(该领域的更早开辟者)的德国。"([5],74~75)

1962年2月5日,W·L·布拉格在致美国新米尔福特大学教授Paul·P·Ewald的信中说:"你询问他(指WHB)是怎样研究射线工作的。实际上我可以确定,起因是劳厄寄给他的一份自己论文的复印件。劳厄知道他对X射线有兴趣。我父亲于1912年7或8月收到这编论文,……他和我经常讨论它。……我一返回剑桥,就重新研究劳厄的结果,并将ZnS的斑点解释为是由于通过面心立方晶格的衍射(1912年10月)。我想,这使我父亲相信了它们是衍射效应,不过他仍然认为也许会有电磁波伴随着X射线。……我指出X射线通过云母的解理面以一定的角度范围反射,像镜子发生反射一样(《自然》,1912年12月12日)。我父亲立即用一个电离室检测了从云母反射的射线,并确定它们真的是X射线。这导致他设计了X射线分光计。我没有插手分光计的设计,但与此同时我通过劳厄的相片得出了NaCl和KCl的结构。……你将看到,在早期,我父亲在利兹的工作与我在剑桥的工作是怎样相互交织的……"([5],190~191)

W·L·布拉格的思想得到了学术界的承认。劳厄等人通过实验最早发现了X射线晶体衍射现象,但"对这种现象的定量解释,主要归功于布拉格父子的工作。……按照W·L·布拉格的看法,X射线在晶体中被某些平面所反射,这些平面可以是晶体,自然形成的表面,也可能是由于点阵中原子规则排列而形成的任何面;这些'原子平面'互相平行,平面间的距离决定了一定波长的X射线发生衍射的角度。分析晶体衍射图,就可以确定晶体内部原子(或分子)间的距离和排列。布拉格父于的先驱性工作成为晶体结构分析的基础。"[13]

然而当时的剑桥卡文迪什实验室的条件还十分有限,每个研究生一套工具,需要什么靠自己动手去做。而象吹玻璃用的脚踏泵只有一个,要大家紧张地轮流使用。W·L·布拉格说:"在这样的条件下工作,我的X射线衍射的概念是永远不可能得到发挥的。如果

是别的实验室而不是我父亲的实验室接到我的研究结果,那么我的发明创造就会被湮没,也许最多只是简单地提一下。"([10],57) 因此,"我能够在我父亲的实验室里从事研究工作是很幸运的。"([10],56) 1961 年 W·L·布拉格在皇家学院讲演中说:"我父亲在处理 X 射线管和电离室方面是绝对权威。你们难以想像当时的 X 射线管有多原始。你不能让超过 1 毫安的电流通过它们,哪怕一小会儿,否则反阴极也会变得太热。放电将气体打进管壁,然后你在一个小钯管下保持一个匹配,这将允许一些气体漫射过射线管,并且得到大大软化。用一个威尔逊金箔静电计进行电量测量也是一件十分需要技巧的活儿,我父亲在他的研究中完全掌握了所有这些技巧。"[14] WHB 依靠这样的高超实验技能设计制造出了 X 射线分光计。"在关于 X 射线的性质以及晶体结构的所有早期研究工作中,X 射线分光计起到了重大作用。"([10],33) 用 W·L·布拉格的话说,用这台比较原始的仪器,"所得结果的精确度却是惊人的。"([10],34) "X 射线分光计为两类研究工作开辟了途径:一是研究不同元素所发射的 X 射线谱;二是晶体结构分析。我父亲的主要兴趣是在 X 射线方面,因为他已在这个领域做了如此大量的工作;而应用分光计研究某些晶体的原子排列的工作,就由我来承担。"([10],36~37) 在 W·L·布拉格看来,WHB 设计的 X 射线分光计,不仅使他的工作思想能顺利实现,而且这小小的仪器促进了英国科学的发展,改变了世界科学的历史。他说:"劳厄的发现开拓了一个新领域。为什么对这个领域进行了深入探索的是英国,而不是在它的发源地,我认为这主要是因为我父亲擅长于精确的电离测量并富于经验,通过电离作用来研究 X 射线效应,比采用长时间的照相曝光更为灵活,并具有更好的适应性,有助于取得定量的信息,而且所得结果比较容易分析;因为对每一反射的晶体位置和衍射束位置都进行了测量。不因省事而采取比较容易的照相记录法,而是敢于采取难度较大的电离测量法,这是值得的。"([10],34~35)

由 W·L·布拉格的这些言论中可以看出前面提到的 WHB 女儿对父兄分工合作的说明([5],74~75)是十分准确的。截止到 1913 年年底,布拉格父子已经把晶体结构分析技术整理成一套标准的操作规程。早期 W·L·布拉格测定了 NaCl 和 KCl 的结构,而主要由 WHB 完成了对金刚石结构的测定。

1913 年 WHB 还提出了 X 射线衍射中次级消光效应:位于晶体深处的嵌镶晶块得不到入射束应有的照射,离表面较近的又恰巧位置方向与之相同的嵌镶晶块已把入射束削弱了。换句话说,在布拉格角度处吸收系数明显增大。

1913 年 WHB 利用他的 X 射线分光计发现了特征 X 射线谱[15]。他深入研究不同元素的 K 系谱线,发现 K 系谱线的频率大体上与原子量的平方成正比。这为其后莫塞莱的工作开辟了道路。WHB 还亲自帮助过莫塞莱。莫塞莱 1913 年与 G·G·达尔文安装了一台与 X 射线分光计相似的仪器。但未能用它获得特征 X 射线谱,他们向 WHB 请教后依法改进仪器,不仅获得了特征 X 射线谱,还证明了这些谱线顺序与周期表的元素顺序相对应,并且得出元素的顺序和核电荷大小一致的结论。劳厄曾评价过这一工作:"从 1913 年起,首先通过布拉格父子(实际是 WHB)和莫塞莱的工作,这些辐射被分解为锐光谱系,它们的波长与化学键无关,而显示出和化学元素周期表中的位置有简单的关系。这些辐射对原子论具有最重大的意义……。"[16]

1912—1914 年就这样成了 WHB 多产的科研高峰期。

3.1914 年以后的研究

1914年以后WHB的重要贡献主要体现在以下几个方面。

其一，1915年在皇家学会的演讲中，他首次提出了傅立叶级数法在X射线分析中应用的优越性，他说："如果我们知道介质周期变化的性质，我们就能够应用傅立叶的方法将它分解为一系列的谐波项。可以把介质看做是由一系列谐和介质所构成的复合物，每一种谐和介质都赋予介质在某一角度进行反射的本领。对于任何一组给定的经验我们所获得的一系列光谱，可以看做可分离谐波项存在的标志。我们甚至可以认为，从它们的相对强度，能够发现原子中的散射中心(电子和核)的实际分布。"([10],110) "傅立叶法的出现揭开了X射线分析的新编章；因为有了这种方法才第一次有可能对有机分子进行分析……"([10],122) 这是多年以后W·L·布拉格对这一贡献的客观评价。在另一场合，W·L·布拉格说："我写信给父亲，非常激动，提出我们应该就此(关于傅立叶级数的运算)合写一编论文。他坚持要我单独去写，而我一直很遗憾未同意那样做，因为关于傅立叶级数应该如何运算的观点完全是他提出的。"([5],126) 劳厄说："从原子中心出发通过对电子密度的伦琴射线照相的傅立叶分析还可以进一步确定在这些金属以及其他不太复杂的结构中的电子分布，这是W·H· 布拉格在1915年就已知道的。"([16],114～115)

其二，1915年父子合著出版了《X射线和晶体结构》一书，对他们在晶体结构分析中所做的工作进行了系统总结。

其三，第一次世界大战结束后，父子俩的研究工作做了一定的分工：WHB开始进行有机物结构的测定，而W·L·布拉格继续从事无机物结构的研究。从此，WHB开辟了一个非常有意义的新领域，开始了有深远影响的研究工作。1921年WHB公布了他对萘和苯的结构的研究结果。

在皇家学院期间，一次WHB为准备演讲而让阿斯特伯里(W. T. Astbury)拍一张纤维品的X射线照片。阿斯特伯里从此对头发和其他蛋白质纤维产生了兴趣，这直接引导他后来开创了WHB认为对工业至关重要的纺织品研究领域。J·M·罗伯特逊(Robertson)当时也是WHB领导的戴维-法拉第实验室成员，他提出了蒽和萘的晶体结构。J·D·贝尔纳(Bernal)这位后来以创立科学学而扬名于学界的重要人物，1922—1927年间也在WHB的实验室工作。1933年他首次获得了单晶蛋白质的X射线照片，并最先研究出烟草花叶病毒的结构。贝尔纳继承了老师WHB的学术成果，并从对有机结构的研究扩展到对生物大分子结构的研究，形成了分子生物学中著名的结构学派。

阿斯特伯里认为："布拉格(WHB)看到，并且随着时光流逝更加清楚地看到，结构分析的至高光荣有一天将出现在生物学领域。"在他看来，"布拉格不仅是一位影响深远的晶体学家，而且还是一位富有前瞻性的生物学家，一位分子生物学家。"([5],127) 1928年4月，WHB在盖伊医学院做关于有机晶体结构的演讲时，明确这样强调："一些新结果的引人入胜和重要意义在于，它们与分子结构有关。可以不夸张地说，它们在生物学上具有生命攸关的重要性。"([5],127)

在WHB的传记中其女儿写道："未及战争结束，我父亲就去世了，他的科学遗愿留给了WL(布拉格)。在以后的几年中，WL领导并培养了由他和父亲开创的X射线的晶体学研究课题，直到佩鲁兹(Perutz)和肯德鲁(Kendrew)对蛋白质分子，多罗西·霍奇金(Dorothy Hodgkin)对维他命B_{12}，以及克里克(Crick)、沃森(Watson)和威尔金斯(Wilkins)对DNA的研究取得巨大成功。至此，由阿斯特伯里开创的分子生物学已经成熟。"([5],

129) 从 WHB 开始对有机化合物结构的 X 射线研究，到人们明了 DNA 的结构，这之间的确存在环环相扣的连续继承关系。DNA 结构的破解是人类 20 世纪生命科学领域的最高成果，在这一探索过程中，WHB 不愧为有非凡眼光的先驱。

1915 年以后，WHB 更重要的作用是作为一个学派的卓越领导。他“并不是每件事都参加，自然地，也不是每一个新设想的提出者，但他是每件事情的灵魂，而我们是他的追随者。无论我们做什么工作，总是有‘告诉 WHB 这件事’的冲动。”这是阿斯特伯里对当年恩师的追忆。

从文献[17]、[18]及文献[8]等中可以更加清楚地看出 WHB 开辟的有机结构分析及其后继者的工作对 20 世纪生命科学的影响。

3.10.1.3 结 语

WHB 比较特殊的履历提供给了我们许多有教益的思索。

(1) 学界常有人统计著名物理学家做出卓越贡献时的年龄，以说明伟大物理学家都大器早成的结论。WHB 成为了这种归纳规律的反例。其实，年龄与科学贡献不一定直接相关。关键是一个人在做出科学贡献前他一般必须掌握其时代物理科学的理论知识或具备出色的实验能力与技巧，足以站在其前辈伟人的肩膀上。牛顿、爱因斯坦等人早达到了这一水准所以大器早成，与 WHB 相似的人较晚才具备这些要求，结果大器晚成，也自然而然；

(2) 创新是科学的灵魂，科学应该鼓励争取“第一”。但布拉格父子的工作说明，不是第一也未必不能做到最好。在 X 射线晶体衍射领域德国的劳厄等人捷足先登，但布拉格父子在做深做透方面显然超过了前者，结果对英国的科学甚至对世界范围内的科学同样做出了巨大贡献；

(3) WHB 虽然性格内向，但他多才多艺。他爱好体育网球打得好，高尔夫球具有专业水准，还曾因帮助设计高尔夫球场而获得奖章，而且他还将曲棍球引进澳大利亚，并担任阿德莱德曲棍球队队长；他的绘画参加过画展并获得好评；他还擅长柔和地演奏长笛……他不仅自己热爱生活，他更具责任感。“他从事这些工作(指为教育、工业和国家事务工作)的动力是深深的责任感……”([5],133) “科学怎样才能有益于社会？这是贯穿于他一生的一个主题。”([5],175) 他肯从小处做起，“去帮助你的邻居”([5],110) 是他的口头禅。当他看见邻居患肌肉萎缩症而需要家人轮流帮助病人做人工呼吸维持生命时，他就动脑筋帮助设计了后来成为布拉格-保罗搏动式人工呼吸器的仪器。对生活的热爱对社会的责任感加上他出色的敏感的科学洞察力使他在起点比较低、客观条件比较差，又兼逢两次世界大战情况下能永葆科研活力不断捕捉新的科学增长点并取得巨大成就。这其中的奥妙值得深思。

2005 年是 W·H·布拉格荣获诺贝尔物理奖 90 周年，谨以此文作为对这位因追求平凡而成就伟大的灵魂的稍微提前的纪念与追思！

参 考 文 献

[1]曾少潜主编.世界著名科学家简介.北京:科学技术文献出版社,1981.

[2]杨德新、马德录编著.物理学发展记事.沈阳:辽宁教育出版社,1986.

[3]宋玉升、郑锡链、惠和兴等译.诺贝尔奖获得者演讲集·物理学(第一卷).北京:科学出版社,

1984.

[4]P. Forman: Dictionary of scientific biography. Charles Coulston Gillispie ed., Charles Scribner's Sons, Vol.1-2, 1973, 397—400.

[5] G.M.Caroe: William Henry Bragg, 1862-1942: Man and Scientist, Cambridge University Press, 1948, 122.

[6] South Australian Register, 11 July 1895.

[7]黄人杰译.布拉格著.物的本性(上).北京:商务印书馆,1973.

[8]阎康年著.卢瑟福与现代科学的发展.北京:科学技术文献出版社,1987.

[9]宋玉升、郑锡链、惠和兴等译.诺贝尔奖获得者演讲集·物理学(第二卷).北京:科学出版社,1984.

[10]W·L·布拉格著,杨润殷译.X射线分析的发展.北京:科学出版社,1988.

[11]W.H.Bragg, X-rays and Crystals. Nature, Lond. 90(1912).360.

[12]郭奕玲,沈慧君.物理学史.北京:清华大学出版社,1993.

[13]李佩珊,许良英.20世纪科学技术简史.北京:科学出版社,1999.

[14]Sir Lawrence Bragg. The Development of X-Ray Analysis. Preceedings of The Royal Institution, Vol.38(1961),530.

[15]W.H.Bragg and W.L.Bragg, The Reflection of X-Rays by Crystals. Proceeding of the Royal Society A88(1913).428-438.

[16]M·V·劳厄著.范岱年,戴念祖译.物理学史.北京:商务印书馆,1978.

[17][英]弗朗西斯·克里克著.吕向东,唐孝威译.狂热追求—科学发现之我见.合肥:中国科学技术大学出版社,1994.

[18][美]保罗·斯特拉瑟恩著.许苏葵译.克里克,沃森和DNA.沈阳:辽宁教育出版社,2000.

(本文已被《大学物理》录用,将于2004年下半年发表)

3.10.2　W·H·布拉格的科学观

被誉为20世纪"一位百科全书派式的巨人"的B·克罗齐有一句著名的格言:"一切历史都是当代史。"[1]在对W·H·布拉格的研究过程中,本文作者不断地对这句格言有更深的体会与认同。

W·H·布拉格曾是20世纪上半叶物理学界的一位传奇人物。早在1907年卢瑟福的主要合作者,著名科学家索迪教授建议利兹大学聘请远在澳大利亚工作的45岁的W·H·布拉格做物理学领头人时即说:"我确信,布拉格是一个全能的物理学家和数学家。"[2] 1923年,卢瑟福在接到皇家学院的邀请后对皇家学院说:"我了解一个人,他和我一样合适,甚至比我更适合担任这个职位。……我指的是伦敦大学学院的物理学教授,威廉·布拉格爵士:他是一个伟大的科学家,他也是一个很伟大的人。"([2],93)

文献[1](6页)说:"被认为是最近过去的一段时间的历史,无论是最近50年、10年、一年、一月、一日的,甚至还是一小时和最近一分钟的,习惯称之为'当代史'。"若将人类文明历史以五千年计,"当代史"最长五十年,不多于这五千年历史的百分之一。物理学史若近似以三百年计,W·H·布拉格逝世(1942)距今已是60多年,超过了物理学史的五分之一。由此类比,W·H·布拉格在物理学史上,真是一个"很古"的人了。事实也的确如此。正如文献[2]的作者所说:"当他的父亲在世的时候,小布拉格被称为'他父亲的儿子';现在(20世纪)70年代,W·H·布拉格已经变成了一个相当模糊不清的人物,成了'他儿子的

父亲'。"([2],178) 1970年当全世界的X射线晶体学研究者聚集起来祝小布拉格80岁大寿的时候,"……他们在发言中几乎没有提到W·H·布拉格。我听着,感到的是困惑和淡淡的悲伤。"([2],177)

考虑到W·H·布拉格在这一领域的创造性贡献,作为他的女儿,文献[2]作者有充分理由为之伤心。但她并未仅此而已。在上世纪70年代的背景下,她敏锐地感觉到了她父亲W·H·布拉格更多的不朽的东西:"W·H·布拉格的科学著述像卢瑟福的一样被后人经常引用,而且他作为一个常人说过的许多话对今天和他刚说时一样有效有说服力,而且对于这一代为沟通问题而困扰的人来说,他的观点更加中肯适合。"([2],178)

又是几十年过去了,我们已是21世纪的人。今天的世界,在科学的各个领域间、科学家与大众及政府间、国家间、民族间……沟通对话不是显得愈加重要么?正是在这个意义上我们强烈地感受到,"一切历史都是当代史",因为历史上确实存在不受时间限制,能够穿透或超越历史的思想与观点,如W·H·布拉格的科学观。

影响一个历史人物身后际遇的因素十分复杂,但经验表明历史人物距离我们时间的远近似乎并不起决定作用。考虑到20世纪物理界群星云集,巨星辉映,生逢其时,任何一位物理学家得不到其身后学界的足够重视,都比较可以理解。但W·H·布拉格曾身负皇家学会会长等职,客观地成为了英国科学史上不可或缺的一个重要历史人物。研究英国科技史,尤其20世纪上半叶科技史,就必须对其予以充分重视。作为一位物理学诺贝尔奖得主,W·H·布拉格独具特色的一些思想也非常值得我们认真研究。

3.10.2.1 科学中性观

作为曾任皇家学院戴维-法拉第实验室主任及皇家学会会长的一名著名科学家,W·H·布拉格不是科学万能论者。他明确指出:"科学仅仅是知识。它没有一点道德性。"[3]据圣经记述,夏娃受到邪恶的蛇的诱惑才偷吃了禁果,从此人类才有了知识与羞耻感,人类也因此获得了原罪。在这一问题上,W·H·布拉格的态度是鲜明的:"对于夏娃是否该吃知识之果的问题,正如病从口入(而我们仍不能不吃)一样,纯粹科学家只能回答'是'"[3]。

科学仅仅是知识,而弗朗西斯·培根早就指出:"知识就是力量"。因此,科学就是力量。在这一点上科学象水蕴藏着巨大的能量,既可以载舟船运输、养鱼灌田令人民生活殷富也可以坍堤决坝、水淹七军置人于水深火热。科学力量合理地掌握在高尚善良的人手里,就会造福无量。"让我们把这一点看做理所当然,那就是我们能够解救我们自己……我们已经知道了(这一点),但我们(只)缺乏必备的知识。"([2],111) 因此,具有中性道德观特征的科学力量是十分必要的:"科学对于彻底成功地从事任何事业都具有基础的重要性。"([2],150)

在科学仅仅是一种无道德性的知识的认识下,W·H·布拉格成功地揭示了科学的统一性及其普适性:"科学具有普适性:不存在一种化学的科学和一种医学的科学,也没有一种和平的科学和一种战争的科学。只存在一个自然界以及关于它的一种(统一的)知识。"([2],150)

对待这种无道德的知识力量,W·H·布拉格是谨慎的,但更是持积极态度的:"让我们不要无益地与发现和发明抗争,而让我们学会如何运用这些(发现和发明)的成果。"([2],167) W·H·布拉格发现,这只是知识或科学力量的一个方面。另一方面,"我相信生活

最大的乐趣是处于一种亲切友好的姿态。没有知识,你就不能有效地做到这一点。"([2],167)

其后的历史已经证实了并将继续证实W·H·布拉格的判断:"十分清楚,一种具有巨大力量的新知识正在稳步显露,每个具有良好愿望的人都不能忽视它的存在。掌握这种力量的人越善良,对它的利用就越好。"[4]在W·H·布拉格看来,人类高尚的道德是合理有效驾驭利用无道德性的科学的前提。

3.10.2.2 科学进化观

在W·H·布拉格看来,科学不是一些永恒的定律、理论的堆积,科学是不断进步的,不断进化的。

"我们所有(科学的)被称为定律的,都是假说:我们随时提出假设,然后进行验证。我们仅保留被证实了的假说。而且我们甚至知道,就连我们的所谓证实也可能是不充分的,因为我们总是(知识太少)有更多的东西要学。表述需要不断改进,这不仅因为新的实验显示了这样做的必要性,而且也是由于随时间的推移,词语意思的改变。……所有的假说都是暂时的,任何假说所具有的唯一功用就在于假说能为进一步的实验提出建议。除却能引导行动,假说一无用处。"([2],112)

"我相信,科学家也意识到了不断增加的理解力量,使得下一代可以在前辈们踌躇不前之处坚定地走下去。他对预测和断言变得谨慎小心,(因为)他发现的假说只是暂时的,他永远不能充分了解。不仅他的事实,而且他的评价、判断也都是不完全的。"([2],169)

"(科学)发现正在继续,没有人能阻止它,甚至我们自己(也不能)。"([2],146)

3.10.2.3 实验科学观

我们所说的W·H·布拉格的实验科学观意指在他的科学观中,实验占有绝对特殊的决定性作用。这一点可以说是W·H·布拉格科学观的灵魂,影响或决定着他的其他科学观点。W·H·布拉格科学观的这一特征无疑和他首先是一流的实验物理学家密切相关。在这层意义上可以说,他的科学观是实验物理学家的科学观,但他将其推到了极至。

1911年12月21日在W·H·布拉格致卢瑟福的复信中,他谈到了他反对的X射线和β射线的脉冲理论(即波动说),他说:"作为一条规则,实验应该先于它(指脉冲理论)。"([2],60) 实验应该先于理论,是W·H·布拉格实验科学观的简洁概括。1928年,他在发表英国学术协会会长致辞时再一次说到:"科学从实验中获得生命……"("Science lives on experiment…")([2],144) 在他看来,科学理论或假设的唯一功用,如前面所说,就是能对进一步的实验提供建议并引导我们的行动,否则理论一无用处。在W·H·布拉格的科学世界,实验是获取知识的主要途径也是检验科学定律真伪的试金石。他相信:"实验室的科学研究是基于自然界简单的因果关系。"([2],166) 尽管科学理论科学假说永远是暂时的,"但实验一直在他(指科学家,下同)的掌握中,实验中有他的幸福和力量,他在其中受到锻炼并坚定了信念。"([2],169) 同样是实验物理学家的伟大的法拉第无疑对W·H·布拉格有特殊的影响。作为皇家学院戴维-法拉第实验室的新主人,W·H·布拉格经常表达对法拉第的尊敬,以致使他的女儿产生这样的想法:"我认为他们看起来很相像。"([2],172) 不仅看起来与法拉第很相像,W·H·布拉格可称得上是法拉第的异代同心者。在一次演讲中,他引述了法拉第1849年8月25日怀着"敬畏的感情"做实验研究的感受。然后发自内心地谈到了实验物理学家在做实验时感受到的与理论物理学家面对

简洁对称优美的自然规律自然秩序时油然而生的敬畏十分相似的"高峰体验":"当我们胆敢向自然本身发问时,我们都会体会到在伟大的存在面前的那种谦卑感。当我们开始安装(可能十分简单的)仪器时,我们希望利用它们探究未知领域。我们为自己的鲁莽感到有些羞愧……那种自然的有序的壮丽的无限感,笼罩在研究者身上,就像一件圣衣,是一件没人可以轻易拒绝的礼物。"([2],130) 在另一个场合,他还说过:"……一个努力通过实验理解自然界作品的人,尽管会感到自己十分软弱和笨拙,但却能得到发现丰富世界的酬报。在所有试图去理解自然界的人们之间存在着一种伙伴关系,它使得一个领域的研究者具有一种令人满意的对其他领域工作的鉴赏力。他所得到的不仅是对美丽和有趣的东西的丰富鉴赏,而且还获得了结交朋友的能力……"([2],131) 在实验面前有如此"高峰体验"的W·H·布拉格,对待实验的态度,除却认为实验应该先于理论、处于至高无上的地位外,还将对待实验的客观态度同人类诚实的道德理念等同看待。1910年6月J·J·汤姆逊的学生和助手克劳瑟(Crowther)称通过实验证实了J·J·汤姆逊的原子无核模型,该研究结果立即受到了W·H·布拉格和卢瑟福的批评。一向为人谦和的W·H·布拉格在批评中用到了尖刻犀利的言语,如"我想它是一编很不道德,几乎是不诚实的论文"、"我想克劳瑟的论文是绝对糟糕的"以及"它含有一编实验论文所能具有的最糟糕的缺点,因为它油滑地给出许多事实去迎合一个名人提出的理论。"([2],54) 这再一次充分地展示了实验在W·H·布拉格科学观中神圣不可亵渎的重要地位。

3.10.2.4 开放科学观

在物理学发展史上,有许多物理学家常将某个科学思想某个科学理论或某个科学概念视为天经地义、绝对神圣不可侵犯的。爱因斯坦对决定论、大统一论的始终一往情深,普朗克对曾被自己打破的自然过程连续性的格外眷恋都是鲜明的范例。与其相反,W·H·布拉格对科学思想、科学理论及科学概念永远保持一种开放的心态,而对自己提出的理论更不例外。

还是在1911年致卢瑟福的一封信中,他提出了自己关于射线的中性对假说。他说:"他们(指其他物理学家)很可能说他们不喜欢使用某种形式的函数令人满意地表达一条定律,因为可能一条类似的定律可以用某种其他函数以最好的方式表达出来。如果这两条定律其实是一条更大定律的部分形式,那正确的做法应该是看每个函数可以涵盖多少事实,然后提出一个完满的形式。对我来说是这样的:我有充分的准备,一旦有更好的设想,我马上就放弃我的中性对(假设),但在此之前,当它表达了一种其他模型不能表达的核心思想时,不使用它是愚蠢的。"([2],60～61)

1912年他在英国学术协会的晚间演讲时又说:"……不协调是我们自己制造的最大的麻烦。如果一个假说将一组观察到的事实联系在一起,第二个假说把另一些不同的事实联系起来;并且如果我们认为这两个假设是不一致的,那么错误肯定在我们。我们必须将某个或其他假说引申到转折点,然后必须找到一个涵盖范围更宽的新假说。只有这样,我们才能正确地使用这两个较为有局限的假说。这正是科学改进的方式……试想,牛顿由于错误的理由而反对脉冲理论,而惠更斯反对粒子理论的理由也是错误的。这很奇怪,更为奇怪的是,他们的错误对他们的研究工作影响非常小。对他们来说,理论只是熟悉而有用的工具而已。我们不时沉迷于激烈的争论,是因为没有认识到假说提出来首先是为个人使用的。我们的确无正当理由要求其他人也应该采用这一工具。因为那是我们为自

己的想法找到的最方便的模型。"([2],62～63)　文献[5]的作者也特别强调过W·H·布拉格的"理论只是熟悉和有用的工具而已"的思想。

1928年W·H·布拉格在发表英国学术协会会长致辞时进一步强调:"……因果关系对实验室工作是有效的,只要找到了它们,我们就自然能正确地利用他们。但是,就像放射性研究的情况那样,我们根据具体需要使用粒子理论和波动理论,而根据目前的发展,两种理论实际上是不相容的。因此,机械论在实验室中的使用并不意味着它现在或将来能代表人类的才智在其他场合能使用和掌握的全部理论。"([2],166)

在量子力学没有建立起来时,W·H·布拉格的一句幽默而贴切的格言概括了玻尔量子理论当时所形成的态势,即:"物理学家们在一、三、五使用波动理论,而在二、四、六使用粒子理论。"([2],63)

后来的许多物理学书籍都以此来揭示玻尔经典量子论的不彻底性,并认为这代表了一部分物理学家对当时量子论的不满。与其如此理解这句话倒不如认为此话再形象不过地展示了W·H·布拉格的开放的科学观:在他看来,这种(互相矛盾的理论共存)状况是科学范畴内一定阶段无法避免的自然而然的事情,不值得大惊小怪。在结束这一话题前让我们再看看W·H·布拉格后来对待前文我们提到的他的中性对的态度。在文献[6]中他说:"我曾有过一个建议,以为这种'中性对'(原译文皆为'中性耦',下同)即一个电子与某种阳性质量的组合,而此阳性的质量,带有与电子相抵消的电荷。这种中性对,既然没有电荷,就可以预料它穿透物质如此容易,……但是后来知道了X射线也有波的本性,与光完全一样,而光也具有微粒的本性,与X射线的似乎具有此种本性完全一样,到这时候就不能够再把光与X射线再当做中性对假说所暗指的两种不同现象了。"W·H·布拉格就这样现身说法对其开放的科学观做了一次具体的诠释。

3.10.2.5　实用科学观

所谓W·H·布拉格的实用科学观意指在他看来科学必须在培养人的心智以及其他造福人类的方面有所作为。他即以此作为自己工作及科学研究的驱动力。讲求实用是英国科学的特征之一,W·H·布拉格受这种科学氛围的影响,又在属于自己的时代很好地传承了这一科学传统。

W·H·布拉格一生中的主要活动都为了这个明确的目的:如何能更有意义地发挥科学的实用的作用。"科学怎样才能有益于社会是贯穿其一生的主题和原动力……"([2],175)　纵观W·H·布拉格的一生,他由实用科学观为指导的言行尤其对当时教育与工业的改革与发展的影响是十分巨大的。早在二十几岁工作于澳大利亚阿德莱德大学期间,这位年轻的教授就极力呼吁,必须改革澳大利亚模仿英国公学过分强调古典语言和数学而只有少量的科学内容的教育模式:"他主张在课程中增加实验科学内容,指出逻辑推理和观察训练对学生以后无论从事什么职业都将是有用的。W·H·布拉格进一步质问,这种实验方法恐怕也没有在其他课程中得以应用,但在儿童成长过程中,从具体问题开始逐渐走向抽象是一种自然的方式。"([2],133～134)　对于传统的教育方式和现代科学在育人方面的作用他进行了深刻的比较:"也许可以以某种传统方式在年轻一代中发展履行责任的能力,但它不能很好地训练人的心智。现代科学所提供的正是一种工具知识和对可以用它们做什么的判断能力。有了这种知识和能力,他们可以为自己创造出新的工作和新的工作方法。"([2],134)

W·H·布拉格极力呼吁的一个结果是,1900年在教师部门委员会的组织下,南澳洲为所有小学教师在阿德莱德大学举行了为期一年的强制培训。1903年当墨尔本大学的皇家委员会参观阿德莱德大学时,他们宣称:"我们被深深打动……一个显著的特征是全体教员对于基础教育所具有的开明态度。"[7]1915年,他到了伦敦大学学院后,使科学科目成为每个学校课程的主要内容。但正如当时的报纸指出:"W·H·布拉格教授既不赞成他们(指当时英国的其他一些科学家,本文作者注,下同)轻视人文学科的教育价值,也不同意他们认为一门科学课程就足够的观点……布拉格教授追求的理想教育是这两种要素的恰当结合。"([2],141) 今天的人们都能看出W·H·布拉格的教育理念的科学性、合理性与超前意识,W·H·布拉格的教育理想今天在世界范围内已很大程度上变为现实,但仍是正确的应努力追求的目标。

还是早在阿德莱德时期,他就主张大学要与工业和农业的需求相协调。他说:"纯粹科学和技术科学彼此相互促进,决不能将它们分开。"而"如果国立大学要充分发挥作用,就不能像过去的修道院那样置身世外,而是必须与人民相结合,从服务于他们需要的努力中汲取力量和激励。"([2],137)

1909年回到英国利兹大学工作时,W·H·布拉格已经47岁。到1915年受邀担任伦敦大学学院教授时,他有了更加成熟的想法。在致化学教授、大学评议会资深成员史密瑟斯(Smithellis)的信中他说:"利兹的物理实验室应该发展成为这个行政区的工业研究实验室。在此之前,实验室的教授和研究人员只应该先调查纺织业中发生的所有相关的物理学问题,作为以后研究工作的选点。这些值得花费一个人,事实上是若干人的全部时间……只有这样,才能开始为该地区建立一个真正的物理研究实验室。……你知道,纺织部门没有足够的物理学知识,也不能指望它会了解物理。物理学问题非那些优秀的人不能解决,对此必须认真对待。我可以亲自就此进行研究,但我不如许多年轻人准备得那么好。……我不认为过去几年我在这一方向上没有起作用,因为人们确实比我来时更加尊崇物理学。……但现在是行动的时候了……政府将需要帮助……皇家学会应该关注促进科学应用的所有可能性,应该知道要做什么,应该与大学和研究实验室取得联系,及时提建议和协调,并对好的服务工作予以承认。"([2],138~140)

同一年W·H·布拉格和科学界几位著名人士发表了一个宣言备忘录,提请政府注意部分政府领导人和行政官员缺乏科学知识。记者采访布拉格后报道:"我发现布拉格教授为使这份备忘录得到赞同做了充分的准备。"([2],141)

终于在W·H·布拉格等科学家的极力倡议下,1916年12月英国成立了科学与工业研究部。1928至1931年W·H·布拉格任该部下设的X射线工业应用研究委员会主席。在实用科学观的指导下并积极投身于科学的应用研究之中使W·H·布拉格有自己独特的感受:"富有成果的发明总是源于知识和经验的现场结合。除非有知识的人出现在某种经验提出要解决的问题的时空中,否则他就会失去提出有益建议的机会。只有经验而无知识的人不可能提出杰出思想,因为只有通过知识才能读出经验带来的教益。"([2],150)

3.10.2.6 科学研究观

在W·H·布拉格看来,科学研究活动是一种近乎神圣的精神活动。他说:"研究不是一种宗教,但它是一种宗教行为。它蕴含着对宇宙之美及目的或意志的一种信仰。那种美意味着它能被那些有眼睛观看的人发现,并且研究的每一步进展都能扩大我们的视

野。"([2],166)　在研究过程中,方法十分重要,他说:"研究很像进行标准分数的高尔夫球赛。自然界决没有任何可以利用的弱点。糟糕的打法是不会赢球的……"而且他甚至已经认识到大科学研究模式的一些特点:"研究是很人性化的,因为研究者会十分欣慰地发现自己是一个研究集体的一员,这个集体为自己的观点奋争然后又否定自己,并将他们的经验传递给那些接着进行他们未尽事业的人们。"([2],131)

于是他十分自然地认识到,对科学研究产生激励的最重要的原因,一种真正的(可以派生出其他形式的)理由就是科学研究的精神。"科学研究的精神就像水的运动,没有它(则)就是死水一潭。在最广泛的意义上,科学研究所包含的当然远不止是探究物理学、化学和生物学的问题。它不是一种宗教,但是一种'宗教活动'。它是一种信念的结果,即在我所试图去做的所有事情中,我们可以通过耐心谨慎的尝试和更好的理解去把它们做得更好;世界远不止我们表面看到的那样,它充满着需要我们详细地加以认识的事物。研究既是我们的责任,也会给我们带来收获:我们总是通过研究而成长,并且相信我们灵魂的健全仰赖着研究。……研究是一项信仰事物之复杂性的活动,探索没有尽头,认为会有一个终点,这是一个可怜的想法。"[8]

"研究的精神会驱使我们尽全力去工作,相信我们做得越多、做得越好,其他人的工作和生活就会越好。它是充满活力、富于希望,可信并友好的;它总是增加新的兴趣并带来新的生活;它是一种应该贯穿于我们所有活动中的精神,而不是只存在于实验室中。事实上,正是这样一种精神,对于我们的民族试图将自己提高到更好的事物水平上是根本的。"[8]

W·H·布拉格甚至认为,科学家"……的成就有一种价值,他们赖以工作的精神则有另一种价值,并且后者的价值远比前者更值得向往。可以正确地说,一些最伟大的科学家,世界从他们的生活中比从他们的发现中得到的更多……"在他看来,巴斯德、居里夫妇和法拉第等人,"他们对真理的崇敬和追求真理的无私奉献,比他们所建立的定律有更高的价值……简言之,追求知识的精神和应用知识的方式,比知识本身更重要、更真实。"([2],160)　可见在W·H·布拉格看来对科学家而言,科学精神不可或缺,在科学观中,实用科学观尤为重要。

3.10.2.7　科学责任观

作为一位著名的科学家W·H·布拉格自年轻时起就积极投身教育改革,在个人事业巅峰期,花很多的精力为儿童做系列广播讲座,成为著名的科学的广播员……这些行为对有的科学家来说,似乎是不可思议的,但W·H·布拉格却乐此不疲。"促使他投身这些工作的动力是深深的(近乎一种宗教感的)责任感。"([2],133)　在1938年的皇家学会会长致辞中,他说:"曾经有一段时间,科学发现被认为是私有财产,即使思想适当也不使之成为普遍的知识。朗福德(Rumford)是18世纪末第一个接受和主张科学责任的人,并且身体力行,设法利用热定律来节约燃料……"([2],148)　在W·H·布拉格看来,科学是属于人类社会的,因此还之、用之与社会是科学家不可推卸的责任。1911年在致卢瑟福的一封阐述自己科学思想的信中的一句话充分展示他对待科学的无私胸襟:"如果你想把这个想法告诉什么人,你尽可以那么做。如果有什么值得保密的话,我(也)不想保守任何秘密。"([2],58)　W·H·布拉格认为科学知识能使我们的灵魂更加健全。因此,"他认为科学应该有更高的优先性,他希望每个人都能理解一点科学所说的内容。"([2],103)　强烈

的责任感使W·H·布拉格总是十分苛刻地律己："按我所受的训练，当我冒险花钱（做研究）而无结果时，我有些惊惶失措。"（[2]，84） 在被推选为皇家学会会长后，73岁的W·H·布拉格仍不知疲倦地开展工作。当女儿问他"你有必要这样卖力地工作吗"时，他说："我必须这样做，孩子。我总担心他们会发现我知道得多么少。"（[2]，109）

W·H·布拉格在高度责任感驱动下的工作产生了极大的影响。皇家学会会员，利兹大学化学教授，大学评议会有影响的资深成员史密瑟斯在信中评价根据布拉格的演讲编著的书时说："……您的书将会掀起真正智慧的、教育上的，甚至可以说道德上的波澜，并且大大有助于使世界更加了解现代科学中发生的每一件事。"（[2]，98） W·H·布拉格的演讲，的确在当时产生了巨大的社会影响。根据他于20世纪20年代末的几次著名演讲编辑的书，在20世纪30年代王云五主编的《万有文库》中，多译成了中文，如《物的本性》（英文名为《Concerning the Nature of Things》）、《光的世界》（英文名为《The Universe of Lights》）及《旧职业与新知识》（英文名为《Old Trades and New Knowledge》）等。

无论是帮助其邻里、帮助其国家，还是探索、做实验以及交流……在所有W.H.布拉格致力于从事的活动中都可看到他作为一个人更作为一位科学家的强烈责任心。

3.10.2.8　结　语

W·H·布拉格于1904年，在42岁时才开始自己真正意义上的研究工作。1915年即与其子W·L·布拉格一同获诺贝尔物理学奖，1920年被封为爵士，1923年任皇家学院常驻教授及戴维-法拉第实验室主任，1930年获皇家学会科普利奖章，1931年获功绩勋章，1935年任皇家学会主席，1940年始任政府科学顾问。W·H·布拉格的社会兼职还曾有：科学与工业研究部的X射线工业应用研究委员会主席、英国学术协会会长、科学教师联合会会长、进口燃料国内生产替代潜力委员会主席、政府粮食科学建议委员会主席……这些职务及社会兼职表明，从1915年始，W·H·布拉格已逐渐成为英国科学界的领袖和代言人，成为英国科技史上承上启下的一位关键历史人物。1942年他逝世后其儿子小布拉格及学生合作者（创立科学学的）贝尔纳等发扬光大了他的事业和思想，都成为英国科学界的中流砥柱。文中我们所归纳的W·H·布拉格的科学观，有些在那一时期是明显的远见卓识；也有些话已成为后来人们的共识，但我们今天已不知是源自他的思想。从W·H·布拉格的历史作用看，有些观点是否是由他本人首先提出已不十分重要，关键是通过他的言，更通过他的行，传承光大了英国科学的传统精神。作为一位科学家，"W·H·布拉格的人生之路即科学之路。在他看来，寻求自然界多样性背后的统一性并将人类的思想（紧密）联系起来是同一个探索的两个方面。"（[2]，178）

事实上，W·H·布拉格的科学观是浑然一体的：深富责任感的他因为有了科学中性观的认识才更加有意识地强调科学责任观，并以此为动力进而致力于实现实用科学观；正因为他深深陶醉于物理科学研究尤其物理实验研究之中，才自然形成了他的科学研究观及海纳百川似的科学进化观和独具特色的开放科学观。W·H·布拉格"所有（科学的）被称为定律的，都是假说：我们随时提出假设，然后进行验证"以及"任何假说所具有的唯一功能就在于能为进一步的实验提出建议"等思想（见前文"科学进化观"）很容易让人联想起与其同时代的美国哲学家杜威的工具论。杜威关于其哲学的精练解说是："各种概念、理论、体系，不管怎样精雕细琢、自圆其说，都只能是一些假设。只能承认它们是行动的出发点，受行动的检验，而不是活动的结局，……它们是工具。同所有的工具一样，它们的价值

并不在于它们自身,而在于他们的功效,功效是显示在它们所造成的结果之中的。"[9]显然两人的观点极为相似。由于资料的限制,本文作者目前还无法断定两人之间是否存在单向或相互的影响,但还是不难看出两人观点貌似之外的本质区别。那就是W·H·布拉格并不否认被实验验证了的假说的真理性,而杜威则否认世界的规律性,进而否认认识是对现实世界的反映并将真理直接与其效用等同起来。

文献[2]的作者将W·H·布拉格传记命名为《William Henry Bragg—Man and Scientist》(原书名还包含布拉格的生活年限)。依本文作者阅读该书后的理解,这个书名中文应译为《作为一个人与作为一位科学家的W·H·布拉格》,作者意在揭示其父平民化的主观生活基调,可谓"知父莫如女",G. M. Caroe把握住了她父亲的灵魂。貌似简单实际健康完美极富内涵的W·H·布拉格,在其作为人类一员与作为一位科学家的双层意义的人生中,将其科学观自然和谐地与其人生观融为一体,深刻地领悟了人生真谛并成功地实现了其人生理想。

参 考 文 献

[1][意]克罗齐文,田时纲译. 一切历史都是当代史. 世界哲学,2002 (6):6.

[2]G. M. CAROE: William Henry Bragg, 1862 - 1942: Man and Scientist, Cambridge University Press, 1978, 49.

[3]The Washington Post, 25 April 1939.

[4]The Star, 29 March 1939.

[5]P. Forman : William Henry Bragg from "Dictionary of scientific biography ", Charles coulston Gillipie ed, Charles Scribner's sons, Vol. 1-2, 1973, 399.

[6]布拉格著,陈岳生译. 光的世界. 商务印书馆(王云五主编《万有书库》第二集七百种)1933年9月.

[7]The Advertiser, 21 August 1903.

[8]Sir Willian Bragg, Research Work and its Applications. Nature, 1 March 1924.

[9]任厚奎,欧阳荣庆,徐开来等编著. 西方哲学概论. 成都:四川大学出版社,1988.

(本文发表于2004年第1期《自然辩证法研究》)

3.10.3 W·H·布拉格——科学学的重要先驱

在学术界,常有这样的事情:一个思潮一个学派在诞生之前,已有一些先知先行者自觉不自觉地为之拓荒,这些人即被尊称为该思潮该学派的先驱人物。如通常认为存在主义形成于20世纪20年代,创始人为海德格尔和雅斯贝尔斯,到萨特时期该哲学流派之影响达到高峰。但是,学术界公认,丹麦哲学家克尔凯郭尔(1813—1855)是存在主义的先驱,甚至俄国的著名作家陀斯妥也夫斯基(1821—1881)以及尼采(1844—1900)也都被认为是存在主义的先驱人物。再比如文艺复兴时哥白尼提出的日心说的先驱人物,则可追溯到古希腊的阿利斯塔克(公元前310—公元前230)。一个学派的先驱人物,通过他的思想,甚至更通过他的行动,对该学派的创立者的影响往往是巨大的,因此他对该学派形成的贡献常常是不可或缺的。W·H·布拉格(下文简称WHB)就是科学学的重要先驱人物。

3.10.3.1 科学学的宗旨

贝尔纳的《科学的社会功能》(1939年)一书,被学术界称为科学学奠基性著作。贝尔纳在该著作中定义科学学时说:"作为一般的阐述,我们可以采纳普赖斯的定义,他认为科

学学就是'科学、技术、医学等等的历史、哲学、社会学、心理学、经济学、运筹学及其他'。……奥索夫斯卡和奥索夫斯基正是用了'科学的科学'(Science of Science)这个术语,并且第一次把这个术语用于我们今天要使用的含义上……"[1]。这就是说科学学是以自身为研究对象的科学理论,它关心研究科学、技术和医学等等的历史问题、运筹学问题……。

恰如M·戈德史密斯和A·L·马凯所说:"在《科学的社会功能》中他(指贝尔纳,本文作者注)考察了英国和其他国家科学的组织情况,考察了科学在教育中的情况,以及科研的效率、科学的应用、科学与战争、世界科学等问题。……作者又仔细地探究了提高科学水平的方法,如科学家的培训,科学研究的改革,科学交流,科研经费,科学发展战略,科学为人类服务,科学和社会改造,科学的社会功能等等。……试图将科学带进市场、政府会议、工农业生产过程,以至人类活动的一切领域。……《科学的社会功能》的基本论点是:科学为每个人服务,科学有其社会作用,而如果有计划地加以利用,就可以大大地改善人类的命运。"[2]这些话不仅是对《科学的社会功能》的高度概括,也准确地揭示了贝尔纳创立科学学的目的或主旨。"《科学的社会功能》一书(原著,本文作者注)的副标题是:'科学是什么?科学能干什么?'概括了全书的主题。"[3]不仅其他学科的学者就是今天的科学学工作者对贝尔纳关于科学学的定义也可能不会完全赞同。但从贝尔纳的原始理解看,科学学的确囊括了现在的科技史、自然辩证法或科学技术哲学、科学社会学、科技战略与政策研究等学科。而按今天中国学术界的看法,刚好相反,科学学、科学社会学、科学方法论、科学思想史等都是科学技术哲学即自然辩证法学科下的专门分支。

3.10.3.2 特殊的W·H·布拉格

WHB身上有太多的与众不同:作为一个主要学习数学,几乎没有学过物理学知识的剑桥三一学院毕业生,他24岁始即成为了物理学教授;作为一位物理学教授,人到中年(42岁)才开始自己真正意义上的科学研究生涯;作为一位数学功力好的物理教授,比较自然地应象麦克斯韦那样成为理论物理学家,而WHB却成为了优秀的实验物理学家;在别人捷足先登的领域涉足仅仅3年左右时间即荣获了诺贝尔物理奖,并且是与自己的儿子同时获奖;一生自小即羞怯喜独处却积极参加社会活动、善于演讲并成为著名的科学广播员;一生不关心政治,克制谦卑却成为了一位爵士,英国皇家学会会长,英国物理协会会长,英国学术协会会长……成为举足轻重的英国科学界的代言人;……

那么,使WHB成为科学学先驱的最重要的因素是什么?一言以蔽之,即一种异乎寻常的责任感。

WHB的责任心几乎是与生俱来的。他1862年出生,7岁时即1869年母亲去世,从此他就到哈堡镇同威廉伯父一家生活在一起。因此他与自己的父亲及弟弟接触是非常少的,可以说感情也不及像对伯父一家人那样深厚。但当WHB上学和弟弟杰克住在一起后,在杰克感到剧烈胃痛时,WHB半夜常下楼去厨房为弟弟热些饭菜,以使他胃好些。这对一个十几岁的孩子来说难能可贵。随着他年龄的增长,成为一名教授,成为一位著名的科学家,成为一位具有爵士身份的人,成为皇家学会会长,他自幼即具的责任心非但没有减弱而是更加强烈更加理性更加具体:"WHB是最不关心政治的人之一。……但是,对于国家,他却有强烈的责任感。'去帮助你的邻居'这在他的笔录和口头语中经常出现。"[4]"他从事这些工作(指教育、工业和国家事务工作,本文作者注)的动力是深深的责任感(几乎可以说是一种宗教感)。"([4],133)

一位科学家如果将自己的注意力只集中在自己感兴趣的研究课题上,他就是一位纯粹的经典科学家,一位不折不扣的专家;如果一位科学家是从他工作的团队———个研究所(室)或一个课题组——角度去思考问题,并卓有成效,那么他就是这个团队的带头人合格组织者;而如果一位科学家能够立足一个国家基础上去看问题,能合理运筹国家的科学,能为处理国家内部科学与其他事务的关系提出良好有效的建议,则他就是一个科学学的实践者。如果一位科学家不关心别人,没有社会责任心,不热爱自己的国家,不关心人类未来,并且对科学没有信心,则无论他有多少高深的科学造诣,他都不会成为优秀的科学学专家。关心别人,关心社会,关心人类的未来,具有强烈的责任心并热爱科学,对科学有充分的信心,另外,再加上能够全面地而不是偏激地看待事物,是一个优秀科学学专家必须具备的内在素质。WHB 就是这样的一位科学家。这些内在素质使他在没有科学学理论指导的时代,成了一位具有前瞻性的科学学先驱实践者。

3.10.3.3　科学学的先驱

如同有不知何为散文的散文家一样,WHB 就是不知什么是科学学的科学学专家。

(1) 置身科学与社会间的 WHB

WHB 身上没有丝毫不切实际盲目空想夸夸空谈的作风。"'做最贴近的事情',几乎成了 WHB 的座右铭。"([4],36)　对于首先以教师为职业的 WHB 来说,教育就成了他沟通科学与社会的一个重要切入点。当 24 岁的他来到澳大利亚阿德莱德大学从事教授工作不久,就把教学和某种对教育的改革看成是他的当务之急的工作。1888 年(WHB1886 年初到阿德莱德大学任教)在大学纪念庆典上,26 岁的 WHB 发表了倡议教育改革的演讲。他明确倡导普通教育而不是职业教育,认为澳大利亚教育模仿英国公学的模式是不成功的,导致过分强调古典语言和数学,而只有很少的科学内容。他主张在课程中增强实验科学,认为逻辑推理和观察训练对学生以后从事任何工作都是有用的。他说传统教育制度"也许可以以某种传统方式在年轻一代中发展履行责任的能力,但它不能很好地训练人的心智。现代科学所提供的恰是一种工具性的知识以及对可以用它们做什么的判断力。有了这样的知识和这种能力,他们可以为自己创造出新的工作和新的工作方法。"([4],134)　1897 年,他返回英国休假时,他周游各地考察教育情况,返回阿德莱德后,他向教育部长提交了他的考察报告,并再次强调"好的普通教育应该在所有情况下优先于任何好的技术教育的尝试意图……毫无疑问,从需要上说,英国花在技术教育上的大量金钱被白白浪费掉了。"([4],135~136)　他的这些努力在当时的澳大利亚产生了较大影响。WHB 还组建了英国教师协会澳洲分会。WHB 绝不是反对技术的人,相反他主张大学要与工业和农业需求相协调。他说:"纯粹科学与技术科学彼此互相促进,决不能将它们分开。"[5]他还说:"如果国立大学要充分发挥其作用,就不能像过去的修道院那样置身世外,而是必须与人民相结合,从服务于他们的努力中汲取力量的激励。"[6]

1909 年 WHB 回到英国的利兹大学工作。此时他已 47 岁,他已不再将自己仅仅局限于大学内部。他深入了解制造业的情况,并在繁重的大学授课之余为工人教育联合会做讲座,逐渐将自己的关注点从学校、技术学校和大学,扩展到了工业事务,开始探索为英国事务服务的可能性。1915 年,他在致别人的一封信中说:"……英国的组织、效率和福利必须从发挥科学的作用的观点来考虑……利兹的物理实验室应该发展成为这个行政区的工业研究实验室。在这之前,实验室的教授和研究人员应该先调查纺织业中发生的所有

相关的物理学问题……只有这样,才能开始为该地区建立一个真正的物理研究实验室。……你知道,纺织部门没有足够的物理学知识,也不能指望它会了解物理学。……政府将需要帮助……皇家学会应该关注促进科学应用的所有可能性,应该知道要做什么,应该与大学和研究实验室取得联系,及时提出建议和协调,并对好的服务工作予以承认。"([4],138~140) 也是在1915年,英国一家报纸发表了一份备忘录,是科学界的几个不满意英国政府对科学事务的一贯态度的著名人士发表的宣言。提请对部分政府领导人行政官员缺乏科学知识引起注意。有记者访问了这几位科学界著名人士之一的WHB并写道:"我发现布拉格教授为使这份备忘录得到赞同做了充分准备。他极力主张应该有一位科学部长(不仅在战争期)负责国家的研究协调。这位部长的责任是了解英国科学界的人力和设备资源……在任命一位科学部长之前,布拉格教授希望看到皇家学会发挥某些协调研究工作的职能,直到一位政府官员最终承担这项职责……一些英国科学家急切推动的另一项改革未得到布拉格教授的赞许。他们疾呼……鼓吹从根本上彻底改造教育系统,其想法是使科学科目成为每个学校课程的主要内容。布拉格教授既不赞成他们轻视人文学科的教育价值也不同意他们认为一门科学课程就足够了的观点……布拉格教授追求的理想教育是这两种要素的恰当结合。"([4],141) 可以看出此时的WHB已经高瞻远瞩地俯视并认真思索国家的科学问题,而且思想观点也非常辩证全面成熟。多年的教育生涯使他认识到:"人文学科和科学不是对手而是伙伴,谁也不能离开对方而发展。"([4],147) 1915年7月,在WHB等人的极力呼吁下,英国政府发表了一份白皮书,指出科学家和实业家之间形成了一种共识,即有必要成立一个新的政府机构。1916年,这个新机构成立了,就是科学与工业研究部(DSIR)。而DSIR的咨询委员会由皇家学会会员组成。1939年,在皇家学会致辞中,WHB提到了DSIR:"我们自豪地认为,它是皇家学会的独创设计。"([4],142) WHB永远是一个伟大的实践者,从1928年到1931年,WHB是DSIR的X射线工业应用研究委员会主席。这段时间虽然他十分繁忙:忙于访问工作、开放研究实验室、讲学、做科学播音员、在午餐会或晚宴时讲话……但他仍孜孜以求,做了"科学与工业"、"X射线有助于英国工业"等改变人们观念的演讲,他抽时间对气体工业家、光学工业家、染匠、宝石学家,以及食品业、电力工业和电影业人员甚至对运输工人讲话。他将当时在谢菲尔德的新金属冶炼实验室比做一块合金中的约束成分,"……它将理论与实践结合在一起,赋予工业以力量和韧性。"([4],144) 他可以耐心而生动地对橡胶工人、玻璃工人授科学知识,向洗衣工人开放研究设施……他在牛津圣爱德华学院讲学时明确提出"需要一类科学管理者。"([4],148) 1936年他作皇家学会会长,在致辞时他一方面建议对工业界的研究人员的教育应该改善,以使受教育者获得更全面的训练,(事实上,他早年对职业技术学校的反感就是因为他看到了单纯的技术教育往往不可能使受教育者得到全面的发展的状况。而这个问题在21世纪的今天仍未很好的解决,所以今天的人们仍然在倡导专业设置的宽口径。)另一方面,在告诫科学家在条件、环境还不成熟的情况下,"科学专家必须靠自己去消除使他陷入死胡同的障碍。这就要求他受的教育要比使他只成为一个实验室研究人员更充分。这又使我们回到非常重要的一点,即科学家自己必须像关心他的研究工作一样多地关心那些给他提出研究任务的人。"([4],148) WHB总是对科学充满信心,热忱奉劝人们积极地看待科学:"让我们不要无谓地与发现和发明抗争,让我们学会怎样使用这些发现和发明的成果。"[7]"显然,一种力量巨大的新知识正在稳步

发展,每个心地善良的人都不能忽视它。掌握这种力量的人越善良,对它们利用就越好。"[8]显然他已敏锐地感觉到了科学这把双刃剑负面的影响。但是他断言科学是人类不可或缺的:"科学发现在继续,没有人可以阻止它,甚至我们自己也不能。对解决健康、工业和每一项人类活动中的问题的要求,使得对知识的恒久需求是如此急迫,以至于知识的增加持续而迅速。即使没有实践的促进,也会有永不衰竭的好奇心要求了解更多的东西。因此,我们必须接受这种状态,寻求领悟怎样最大限度地利用它。"([4],146)　DSIR获得了成功并影响日增,1934年,由英国首相主持了由英国科学协会组织的以"国家事务管理与最新科学发展"为题的系列演讲。WHB作了首席演讲而第二个演讲者是他的朋友——大名鼎鼎的卢瑟福。

WHB一直希望在国家商议中有科学的声音。正是出于这种原因,他才努力地训练和培养科学的发言权,并自愿离开实验室去劝说科学家接受外部事物的责任。1939年在皇家学会会长致辞中再一次重申:"如果我们能够以某种方式使科学作为一个整体,与政府作为一个整体建立紧密联系;如果我们能够将科学的中心权威与国家的中心权威联系起来,我们就可以满意了。科学在国家事务的任何一个部门的直接应用,应从这个部门内部而不是外部开始。……更需要的是方法,通过这些方法,政府在所关心的所有国家事务领域中都能应用和依赖全部科学知识。"([4],150～151)　他的思想得到了很好的承认。1940年6月他担任政府粮食科学建议委员会主席。虽然他年事已高,但像对待其他兼职一样并非只挂虚名,他的工作也似乎远远超出了一个物理学家的范围。他在皇家学院组织了一系列讲座,以便更广泛地传播营养基本原理和实用知识。这些讲座以《国家粮食贮藏和家庭主妇在其中的作用》为名正式出版。WHB受邀担任多种委员会的主席,正如他自己所说:"这些委员会在我作主席后看上去运行良好",他能得心应手地驾驭多个委员会,充分展示了他运筹帷幄的管理组织才能。据不完全统计,WHB生前曾任过的职务,除皇家学会会长,皇家学院常驻教授及戴维-法拉第实验室主任外,还有:英国科学教师联合会会长、英国学术协会会长、物理学会会长、DSIR的X射线工业应用研究委员会主席、海军部反潜艇部门主任的科学顾问、进口燃料国内生产替代潜力委员会主席、政府粮食科学建议委员会主席、粮食需求与生产咨询委员会主席、粮食科学顾问委员会主席、"英法救护队"主席、战时科学家和工程师顾问小组顾问、英国对外文化协会主席……。这些职务既展示了他关心的社会事务领域之宽广,又印证了他曾经起过的超乎一位物理学家的社会作用。1940年6月WHB以皇家学会会长的身份向丘吉尔首相建议:"我认为,我许多同事也认为,迫切需要一种目前尚不存在的协调机制……如果要迅速有效地工作,任何受政府委托具有这种协调功能的委员会必须很小,并且必须有内阁沟通的直接渠道。"他对这种机构的组成做出了建议,由一位内阁部长任主席,皇家学会会长、皇家学会物理学秘书、生物学秘书、科学与工业研究部秘书、农业委员会秘书等任副主席。他认为这样构成的委员会有以下优点:

① 它的主席、作为内阁的一位成员,能向委员会就需要的科学建议来帮助解决的问题进行咨询,……他也能向内阁传达委员会关于科学知识或方法在战时尚未被发掘的可能应用;

② 科学与工业研究部,医疗研究委员会和农业研究委员会的秘书加入该委员会,能够保证这些机构拥有的广泛资源被用于跨机构问题的解决,避免工作重叠和浪费;

③ 皇家学会会长和两个分会秘书参加该委员会,有助于将我们所有的科学活动,包括那些现在尚未有代表性政府部门的部分,集中在共同的战争努力上;

④ 这样一个委员会的科学家能够向内阁建议那些现有知识最适于用于战争问题。通过协调科学工作,他们能够保证国家机构对研究人员和研究设备的应用;

⑤ 如果防御设施科学研究的领导者,以及其他部门的科学机构成员,担任这个委员会的顾问,那么,当所讨论的问题影响到他们所在的部门时,就能保证所有这些问题不失时机地被那些最适合解决它们的人攻克。([4],195~196)

协调不同领域各部门之间的关系,充分利用资源极大地提高科学效率,更好地发挥科学的作用,始终是 WHB 追求的目标。1940 年 7 月 24 日他在致巴罗爵士的信中再一次解释了他向首相提出建议的原因:"目前没有任何一个机构负责全方位监督科技组织。DSIR 做自己的工作,皇家学会解决自己的问题,MRC 关注医学研究,但没有一种手段可以将其他努力和其他机构的工作协调起来解决特殊问题和紧急问题。"([4],199) "科学怎样才能有益于社会? 这是贯穿于他一生的一个主题。"([4],175) WHB 这一周密建议的结果是 1940 年 10 月 8 日英国政府成立了科学咨询委员会。

事实往往并非全像表现出来的那么顺利,皇家学会秘书 A·C·埃格顿曾写信给 WHB 的儿子小布拉格说:"[WHB 拥有]真正的谦逊……富有思想和气魄……[我们有时]受到官方的阻碍,正是你父亲对那些阻止实现正确目标的力量进行了坚定的抵制,带来了现在已部分实现的科学与政府之间的通畅关系。"([4],175) 仅从这一角度我们称其为科学学先驱即不为过。

在 WHB 进行这些艰苦卓绝的沟通科学与社会的努力过程中,有一条原则他是始终十分明确的,即:"他没有个人野心,认为是科学而不是科学家必须增加权力。科学家中间的个人权力政治令他十分苦恼,它们玷污了科学的形象。"([4],175) 1940 年 12 月 WHB 在他的最后的会长致辞中就说:"我们应该记住,我们正在努力提高其地位的是科学本身而不是科学家……我们不要求科学家因其是科学家而被赋予权威,但我们确实要求,随着科学对政治、工业和思想本身的持续影响,权威要借助不断增长的知识而实施。"([4],158) 他还说:"……我们最好的方法在于我们自己的行动。如果在不断增加的科学家与公共事务的联系中,我们能够表明我们可以贡献某些重大价值,并且是无偿的贡献,将我们个人利益置于那些更大目标的利益下;如果我们努力理解我们遇到的那些不明白我们观点的人(就像我们可能不欣赏他们一样)的动机和准则;那么,通过这种努力,我们就会有最大的机会带来我们所期望的变革。正是科学家的个人接触,尤其是那些对国家负有责任的人所做的联络工作,是这种变革的动力。如果我们的献身能达到目的,那就是这些科学与政府的新联盟所具有的意义和将具有的意义所在。"([4],158~159)

致力于沟通和搭建科学与社会联系的 WHB 在这方面付出的精力是巨大的。但限于他生活时期特殊的国际环境,他更多地关注的是科学与自己的国家之间的关系,致力于科学如何更好地为英国服务。但是,他的一句最脚踏实地的座右铭就是"去帮助你的邻居"。当他为国家民族的事务而操心尽力的时候,他与这个国家、民族就是浑然一体的,这时,其他国家,不就是他的邻居么? 当他听到德国侵略俄国的消息时,他担心:"我不知道俄国人将如何应付。"([4],120) 战争未爆发时,WHB 曾设法努力保持与德国科学界的联系,并希望产生好的影响。1939 年 1 月在战争似乎一触即发的情况下,由包括 WHB 在内的

8位英国杰出人物签名的一份声明对德广播:帮助拯救文明。声明中说:"……我们的文明——所有国家、所有阶层的男女都曾为之做出的贡献的文明,遭到了人类历史上最具灾难性的威胁。……那些了解文明成就的价值,那些心里没有憎恨和复仇的幽灵,那些真诚渴望与他们的各国伙伴和平相处的具有善良愿望的人们,应该穿越前线与那些同他们感受相同的人们交谈,以便用心灵和头脑的天赋齐心协力去阻止这场最大的灾难,并且破除那些使我们处于被分裂危险中的人为的仇视壁垒。"([4],193)　WHB一直致力于不同民族加强相互理解。他到其他国家如南美的布宜诺斯艾利斯和里约热内卢访问讲学都获得了成功。美国科学院院长1939年6月30日曾写信称赞WHB对美国的访问:"……在科学界,您的访问以其独有的特色,就像随后贵国国王和王后的访问一样成功。"([4],116)　对于身边的具体的事情,WHB帮助邻居并不仅仅是一句口号。当他发现一个邻居患了肌肉萎缩症,呼吸困难时,他曾为之设计了后来被称为布拉格-保罗搏动式人工呼吸器的仪器。当战争爆发后,他立即"……和皇家学会的其他一些人坐在一起开了一个小组讨论会,建议收容办公室考虑发挥收容难民的特长。……有许多令人赞佩的爱国主义努力,也有少数令人气愤的人他们不愿做任何事。"([4],118~119)

小布拉格曾说他父亲"献身科学的动力是他的信念,这种信念是他的审判者。"([4],171)　WHB自己说:"一个人的目的来自宗教,他实现这个目的的能力则来自科学。有时人们问,宗教和科学是否彼此对立的。在拇指和其余四指互相反对的意义上,它们是对立的。这是可以把握任何事情的对立。"([4],161)　WHB是有自己思想的一个忠诚的宗教信仰者,将科学与宗教并提,足见科学在其心目中的地位。使科学深入人心,发挥其应用的作用而服务于社会是WHB科学观也是人生观的重要部分,也是其穷尽一生努力追寻的目标。在建构科学组织、领导科学组织、科学在现代教育中的作用、科学效率、科学应用、科学交流、科学和社会改造……科学学所关注的各个领域,WHB都曾为之做过深入探索并卓有成效付诸实践。

3.10.3.4　WHB与贝尔纳

被称为科学学开创者的贝尔纳(J. D. Bernal)1922年毕业于剑桥大学,当年应WHB之邀来戴维-法拉第实验室工作,并且在此工作了五年之久。在WHB的指导下,贝尔纳成了一位颇有专长的实验结晶学家。WHB对贝尔纳的影响之巨大以及贝尔纳从心中对WHB的尊敬由一事可见一斑:在1957年出版的贝尔纳另一本巨著《历史上的科学》中,他多次高度评价布拉格父子的工作,如他称1895到1916年为现代物理学的英雄的或者从另一方面看是业余家的阶段,"这仍是以个人成就为主的时代:是居里(Curie)夫妇和卢瑟福,普朗克和爱因斯坦,布拉格父子和玻尔的时代。"[9]贝尔纳如此评说布拉格父子的地位自有他的道理,但这在科技史界并不多见。贝尔纳对WHB的深厚感情及无限敬意进一步使他更加留意WHB的言行,从而得到更大的教益。

在《科学的社会功能》一书中,在"英国科研组织现状"这章,介绍"皇家学会"时,贝尔纳长编巨幅引用了WHB1936年的会长演说报告以说明它的职能及其在英国科学研究总规划中的地位。([1],84~86)　在"科学教育"这章分析"从事科研的机会"时,贝尔纳还是长编幅引用了WHB1936年这次演说中的内容。纵观WHB的言行,再比较贝尔纳在《科学的社会功能》一书中的观点,不难看出,贝尔纳在思想上从WHB那里继承的更为丰富。WHB去世后,贝尔纳在写给小布拉格的信中说:"在某种程度上,他(WHB)也是我科

学上的父亲。他培养了我,并在我职业生涯的所有阶段给我以帮助,我始终为在他领导下工作感到骄傲。我总是想告诉他我是多么感激,但却一直未来得及那么做,现在太迟了……他是一个伟大的研究领袖,鼓舞人心且兴趣持久。他知道怎样使我们干得最好和什么时候派我们独立工作。从他的榜样中,我学会了所有关于怎样组织研究活动的知识……世界上只有少数人的工作如此成功,如此重要如此独一无二。他的名字无疑活在物质结构领域,就像伽利略在天文学或法拉第在电学领域一样。"([4],176) 学会如何组织科研活动是一个科学学家,尤其实践科学学家必须具备的基本能力。有了这种能力,他才能更加有的放矢地研究解决科学学问题,否则,难免只是一味空对空"放炮"。从贝尔纳的话中我们可以看出他的这一能力直接源于 WHB 的培养。

1942 年 BBC 安排了 12 项主题为"科学揭开面纱"的讲座。WHB 做了其中第一个演讲,并且主持其余演讲。3 月 12 日星期一,由 J·D·贝尔纳做关于"生命起源问题"的讲座,采取与 WHB 对话的形式。在进行了这次对话后的星期四,WHB 即溘然长逝了。

WHB 逝世后,他的未竟事业主要由小布拉格和贝尔纳继承下来,而其中他超乎一般科技专家之上的致力于科学服务社会方面的努力,主要为贝尔纳发扬光大,不仅开创了一个新学科而且对二战后许多国家的科学发展都起到了积极的推动作用。而 WHB 对贝尔纳的影响,可谓他对科学学的又一重大贡献。

1942 年 WHB 逝世后,生前他的学术上的最大"对头"巴克拉在致小布拉格的信中说:"虽然我对 WHB 了解不多,但与他相遇而感受不到他的某些精神美德是不可能的。"([4],175) WHB 的继任者,皇家学会会长及皇家学院院长亨利·戴尔则说:"我认识很多伟人,但我相信,没有谁的精神品德受到如此普遍的热爱。"([4],175) 这至大的荣耀绝对主要不是因为他的纯粹科学贡献,而是由于他在高尚善良的精神品德之上的爱心、责任心驱动下积极努力,在我们后人看来担当了事实上的科学学先驱的必然结果。

(文中对文献[4]的引用多参照了江西教育出版社 1999 年出版的由赵万里先生翻译的《人与科学》一书并有所不同)

参 考 文 献

[1][英]J·D·贝尔纳著. 陈体芳译. 科学的社会功能. 北京:商务印书馆,1982.

[2][英] M·戈德史密斯、A·L·马凯主编. 科学的科学——技术时代的社会. 北京:科学出版社,1985.

[3]查有梁、查星. 科学学的奠基人——贝尔纳. 科学学研究, 1996, Vol,14. No 2. 76.

[4]G. M. Caroe: William Henry Bragg, 1862-1942: Man and Scientist, Cambridge University Press, 1978,110.

[5]Brisbane Daily Mail. 13 January 1909.

[6]The Register, 12 January 1909.

[7]Penang Gazett, 5 April 1934.

[8]The Morning Drst ,8 June 1936.

[9]贝尔纳著. 伍况甫等译. 历史上的科学. 北京:科学出版社,1983.

3.11 几位著名中国物理学家

中国物理学会成立于 1932 年。本文回顾几位中国较早期物理学家在海外求学时的

宝贵经历片断，作为对中国物理学会成立70周年的纪念。通过回顾历史事件也希望能够借助几个有限的范例展示中国物理学家取得的成就、作出的贡献。

中国物理界学子赴海外求学，始于20世纪初，如何育杰先生1904—1908年在英国曼彻斯特大学受业于物理学家舒斯特，并听过卢瑟福关于原子物理学方面的讲演；夏元瑮先生1905—1906年赴美伯克利学校学习，1906—1907就学于耶鲁大学，1909—1912年留学于德国柏林大学，受业于普朗克和鲁本斯。1919—1921夏先生两次到柏林，经普朗克介绍认识了爱因斯坦；胡刚复是庚子赔款的第一届留美生，在美哈佛大学从事X射线的研究；饶毓泰1913年留美，先后在芝加哥大学、普林斯顿大学学习并获博士学位；叶企孙1918年赴美，在芝加哥哈佛学习并获博士学位……事实上这批学人都是中国近代物理学的创始者。20世纪30年代，严济慈先生就曾称颂何育杰先生和夏元瑮先生为"中国最早而最好的物理学大师。"[1]这一代中国物理人多数都学成回国，培养出了一批批学业上更有造就的学生。这其中吴有训先生出国前是胡刚复的学生。王淦昌在出国前是叶企孙、吴有训的学生。吴大猷先生在80岁高龄时还说："我最怀念的教师是在南开大学物理系教我的饶毓泰先生。"[2]钱三强留法前则是吴有训、严济慈的学生，而黄昆先生赴英前曾是吴大猷的学生……

中国物理界早期留学者，中国物理界的普罗米修斯们，尤其抗战前前后后的留学者，特殊的历史时代使他们除却对科学的个人的向往外，更有一种沉甸甸的使国家民族振兴的责任感使命感系于心头。他们之中有些人在那多种困难并存的环境下取得的成就令我们今天仍为之击节，这些成就的取得，与他们深怀使命感不无关系。下面仅择几人几事为今天和明天的中国物理学子洗心砺志。

3.11.1　吴有训

吴有训先生于1916年考入南京高等师范学校理化部，受教于留美归来的胡刚复博士。胡先生曾从事X射线研究。在胡先生的指导下，吴有训先生在国内即对X射线有了一定的了解。1921年以优异成绩获得赴美留学机会。该年底吴有训赴美，1922年初进入芝加哥大学。其时，著名物理学家A·H·康普顿正以访问学者身份在芝加哥大学从事研究与教学，1923年他正式成为该校教授，该年5月康普顿发表了解释X射线被石墨散射后频率改变现象（后称康普顿效应）的论文。当时同时研究这一现象的美国物理界一位重要人物杜安有所谓"箱子效应"和"三次辐射"的理论，因此他极力反对康普顿的工作。吴有训先后以十几种元素为散射物质进一步做了大量深入研究，通过精心设计实验方案以无法辩驳的事实对康普顿的理论给予了极大支持。这些成果得到了国际物理界的关注和承认。相关数据被一些国际著作引用。吴先生1926年获博士学位，同年秋回国筹办江西大学。1962年杨振宁从国外赠书给吴先生，于扉页题词："年前晤A·H·Compton教授，他问我师近况何如，并谓我师是他一生中最得意的学生。"[3]国外有的物理教科书，因尊重吴先生的工作而将康普顿效应称为康普顿-吴有训效应。

3.11.2　严济慈

严先生1923年赴法国留学，1927年获科学博士学位。1880年著名物理学家比埃尔·居里发现了晶体的压电效应，但压电效应的定量数据的获得，是严先生深入研究并精确测量给出的。严济慈的导师是物理学家夏尔·法布里，他是居里夫妇的好朋友。玛丽·居里夫人对严先生的研究非常支持，并把四十年前居里用过的石英晶体样品借给了严济慈。

著名的物理学家朗之万对严济慈也非常赏识，给予了许多指导和帮助。严先生在大量实验基础上，总结出了石英晶体的压电效应及其反效应具有各向异性、饱和现象以及瞬时性等特性，扩充发展了居里的理论。1927 年法布里当选为法国科学院院士，在就职仪式上他宣读了他的得意弟子——严济慈的博士论文。1931 年严先生回国。1934 年与著名物理学家 F·约里奥-居里及卡皮察同时当选为法国物理学会理事。

3.11.3　赵忠尧

赵忠尧先生 1927 年到美国加州理工学院从教于 1923 年诺贝尔奖得主密里根，1930 年获博士学位。1979 年丁肇中在联邦德国同步辐射中心"佩特拉"加速器落成典礼时，向十多个国家上百名科学家这样介绍赵忠尧："这位是正负电子产生和湮灭的最早发现者，没有他的发现，就没有现在正负电子对撞机"[4]，这是指赵先生在研究密里根给出的第二个课题(第一个课题被赵先生拒绝了)"硬 γ 射线通过物质时的吸收系数"时，测量到了反常吸收和特殊辐射现象。所谓反常就是与当时比较公认的克莱因-仁科公式有很大出入，即只有在轻元素上的散射才符合，而在通过重元素时相差很大，如当硬 γ 射线被铅散射时吸收系数比公式结果大了约 40%。由于密里根相信克莱因-仁科公式的结果，而对赵先生的结果不甚相信，以至将论文搁置了 2 个多月。后来由于鲍文教授十分了解赵先生的工作，向密里根作了保证，文章才于 1930 年 5 月在美国《国家科学院院报》发表。在接下来的实验中赵忠尧发现 γ 射线被铅散射时，除康普顿散射外，伴随着反常吸收还有一种特殊的光辐射出现。由于当时所用的方法不能显示详细的机制，只能断定这两种现象不是由于核外壳层电子而是由于原子核所引起的。事实上，反常吸收是由 γ 射线在原子核周围产生正负电子对而减少的结果，而特殊辐射就是一个正电子和一个负电子碰撞湮没而产生两个(或两个以上)光子的湮没辐射。

3.11.4　王淦昌

丁肇中先生说过："中国人才辈出的物理学家能留名学史上的有赵忠尧和王淦昌先生等。"[4]

王先生 1930 年考取官费留学生，到德国柏林大学威廉皇家化学研究所，师从迈特纳，他先后在哥廷根和柏林大学有幸听过玻恩、米泽斯、海特勒、诺特海姆、弗兰克、薛定谔以及德拜等人的课。1933 年 26 岁的王先生完成博士论文《$ThB+C+C^{11}$的 β 谱》，年底由著名物理学家冯·劳厄、玻登斯坦以及迈特纳等人组成的答辩委员会审查并通过了王淦昌的博士论文。1934 年 1 月王淦昌参观了卡文迪许实验室，拜会了卢瑟福、查得威克等物理学家。1934 年 4 月回国。

王先生的科学贡献主要有：提出了验证中微子存在的实验方案；利用宇宙线研究了 μ 介子衰变特性；首次发现了反西格马负超子；首次观察到在基本粒子相互作用中产生的带奇异夸克的反粒子，获 1982 年国家发明一等奖。

王先生参与了我国两弹研制的试验研究和组织领导，是我国核武器研制的主要奠基人之一。

3.11.5　钱学森

1935 年进入麻省理工学院航空工程系。当时美国唯独加州理工学院有一所空气动力学实验室，主任是匈牙利著名学者冯·卡门(也译为冯·卡曼)。冯·卡门早年也是有成就的物理学家，是麦克斯·玻恩的好朋友。1909 年玻恩刚回母校哥廷根大学工作时，就与卡

门好几年住同一幢房子，两人天天讨论物理学问题，并合作发表了著名论文《关于空间点阵的振动》。之后两人在研究领域分道扬镳，玻恩成为20世纪著名的物理大师之一，卡门则"专门研究流体动力学和空气动力学，在这两方面他享有盛名，在他移居(1933年)以后，成为美国的第一流人物，在空军中很有影响。"[5]1945年6月玻恩在苏联的一次会议上再次见到了卡门，卡门给玻恩的印象是："他还是哥廷根先前岁月的老样子：对朋友关系是友好的，而对人的一般事务方面持尖刻的讥讽态度，这样一种两者皆有的奇怪的混合。"[6]1936年秋，钱先生慕名到加州访问卡门。卡门对钱学森敏捷而又富于智慧的思维非常欣赏，建议钱学森到他这里来读博士学位。从此钱学森在卡门指导下专攻高速空气动力学。中国学生赢得了卡门的特殊感情，除钱先生外，他还培养出了林家翘、钱伟长及郭永怀等中国著名数学家、科学家。他常说："世界上最聪明的民族有两个，一个是匈牙利，一个是中国。"[7]

在卡门的指导下，钱学森在1933－1945年间在《航空科学》、《应用力学》等杂志发表8编论文，推出了卡门-钱学森公式，提出了跨声速流动相似律等许多开创性工作。1945年卡门任美国空军科学顾问团团长，授少将军衔，钱学森任顾问团火箭组组长，上校军衔。第二次世界大战结束后，美国空军当局高度评价钱学森的工作，认为他为战争的胜利做出了巨大的贡献，卡门更是器重他的得意门生，称他为火箭方面最得力的专家。钱学森几经磨难1955年才回国，为新中国火箭、导弹以及航空航天技术的发展做出了奠基性的工作。1991年荣获《国家杰出贡献科学家》的称号。

3.11.6　钱三强

1937年，钱三强考取了中法教育基金委员会留法公费生，当年夏天到达巴黎。当时正在法国参加会议的严济慈先生亲自将钱三强介绍给了伊莱娜·居里。伊莱娜·居里和她丈夫约里奥·居里人称小居里夫妇。钱三强进入居里实验室后，尽量多干具体的工作。除了自己的论文工作，一有机会就帮助别人干活，目的是想多学一点实验本领。有人问他为什么这样？钱三强说："我比不得你们，你们这里有那么多人，各人各干各人的事。我回国后只有我自己一个人，什么都得会干才行。"[8]就这样东问西问两年多的实验室工作使钱三强增加了丰富的知识和实际技能。

1939年希特勒军队占领法国，钱三强随同事想逃难，但未能成功。这时他的公费留学费用中断了，回国不能，留下又没有生计。在钱三强最困难的时候，不肯离开法国的约里奥向他伸出了援助之手，他说："既然是这样，那还是想法留下吧，只要我们自己能活下去，实验室还开着，就总能设法给你安排"。[8]钱三强在沦陷后的巴黎，度过了1940和1941年，并取得博士学位。虽然在科学工作中又有不少进步，但心中一直思念自己的祖国。他听说法国南方还有船开往中国，1941年底就前往南方准备回国。谁知听到的消息不准确。暂时就在里昂大学工作。这时回巴黎已很困难。原因是巴黎属于德占区，而里昂却属于维希政府管区，往来两地要签证才行。钱三强给约里奥先生写了封信，在约里奥夫妇的帮助下，1943年钱三强回到了巴黎继续在居里实验室做研究工作，直到回国。这时的钱三强这位中国留学生在法不仅完成了学业，而且凭他的巨大贡献已成为著名的物理学家。如1946年他领导的研究小组利用核乳胶研究铀裂变，发现了著名的铀核三分裂四分裂现象，荣获法国科学院亨利·德巴微物理学奖金。约里奥说："铀核三分裂和四分裂是第二次世界大战以来法国核物理界一个重要工作。"1947年钱三强任法国国家科学研

究中心研究导师。

1948年钱三强回国时,小居里夫妇在给他写的评语中说:"他对科学事业的满腔热忱,并且聪慧有创见。我们可以毫不夸张地说,在那些到我们实验室来并由我们指导的同一代科学家中,他最为优秀。……我们的国家承认钱先生的才干,曾先后命他担任国家科学研究中心研究员和研究导师的高职。他曾受到法兰西科学院的嘉奖。"

"钱先生还是一位优秀的组织工作者,在精神、科学与技术方面他具备研究机构的领导者所应用的各种品德。"[8]

3.11.7 彭桓武

2000年,通过爱因斯坦文集我对玻恩的物理学哲学思想产生兴趣,但能找到的玻恩的书仅有一本《我的一生和我的观点》,这是只有111页的很薄的书。在书中玻恩提到:"在我的学生中有四个很有才华的中国人;其中之一是黄昆……"[5]为更多了解这方面的情况,我请中科院高能所的吴水清先生向黄老讨教。黄老4月30日回信,首先告之,另外三人是彭桓武、程开甲和杨立铭先生。

彭桓武先生1915年生于吉林长春市,1938年秋赴英在爱丁堡大学随玻恩学习,1940年获哲学博士学位,1945年获科学博士学位,1947年底回国。玻恩在他的著作《我的一生》中回忆说:"我的第一个中国学生是个矮小而强壮的小伙子,名叫彭(桓武)。他天赋出众……我记得有一次他在一个理论问题上出了一个错,错误找出来后,他非常沮丧,以致决定放弃科学研究,代之以为中国人民撰写一部大《科学百科全书》,包括西方所有重要的发现和技术方法。当我说到我以为这对单个人来说是个太大的任务时,他回答道,一个中国人能做10个欧洲人的工作。……他被任命为爱尔兰都柏林薛定谔高级研究院的教授,作为亥特勒(W. Heitler)的继任,……我想彭是得到欧洲教授职位的第一个中国人。几年以后他决定回中国,在走以前他来看望我们并和我们(指玻恩一家,本文作者注)一路到苏格兰西北高地的尤拉浦尔去,我们在那里度假。……我们一起度过了美好的几天。然后他离开了我们再没见过他,他也没写信来。"从玻恩的字里行间渗透出他对这位倔强的中国北方小伙子的想念喜爱与欣赏。彭先生在英国时与亥特勒合作做介子理论方面的研究,并由于在理论物理方面的贡献1945年与玻恩分享了英国爱丁堡皇家学会麦支杜加尔-布列斯班奖。回国后继续进行核物理研究,对分子结构提出了以电子键波函数为基础的计算方法。1956—1957年在他的领导下邓稼先与何祚庥、徐建铭、于敏等合作发表一系列重要论文,为中国核物理研究做了开拓性工作。

彭先生1982年获国家自然科学奖一等奖。1985年获国家科技进步特等奖。关于程开甲和杨立铭先生,玻恩在著作《我的一生》中说:"在彭走后,爱丁堡又来了他的两个同胞,程和杨,他们是极不同类型的人。彭除了他那神秘的才干以外是很单纯的,外表像一个壮实的农民。这两个却是高尚、文雅、有高度教养的绅士,两人都很精于数学,在物理学方面也有天赋……"

程开甲先生1946年发表《对自由粒子的锹狄拉克方程推导》一文,指出仅在量子力学和相对论基础上就可用正则运动方程导出狄拉克方程。80年代中期通过进一步研究,他严格证明了只有自旋为零或(1/2)大的粒子才能满足正则运动方程。据此认为只有质子和轻子、介子系统才是上述意义上的真正的基本粒子,并形成八重态。

杨立铭先生1946—1951年根据托马斯-费米模型成功地解释了原子中的幻数,并导

出核内的核子数密度。70年代末到80年代中期,他开展了关于原子核集体运动形态与核内外自由度的研究,建立了描述原子核集体运动与低激发态的微观理论。

3.11.8　黄　昆

黄昆先生在给吴水清先生的回答我的问题的信中指出:"我并未随玻恩长期工作过,我是于1947年获博士学位后到爱丁堡大学玻恩处访问,约半年,当时商定由我在他已写一部分的基础上完成《晶格动力学》一书的写作,大致用了3~4年时间。在这段时间中,我在利物浦大学理论物理系任博士后研究员,一半的时间用在写书上,每年暑假到爱丁堡与玻恩讨论著书的进展情况。"

在《我的一生》中玻恩的叙述较《我的一生与我的观点》详细得多。他说:"最后一个中国人,黄昆,不能算我的学生了,因为他到我这儿时已是个有能力的理论物理学家。"与黄老的回忆相同。

黄先生1944年于国内在吴大猷指导下获北大硕士学位,1945年赴英留学,导师是后来的(1977年)诺贝尔奖得主N. F. Mott。1948年黄先生获博士学位。1990年黄先生曾说:"他(指导师)并没什么'教诲',而是他善于捉住问题的实质,采用简单中肯的物理模型。解决问题的风格给人以深刻的影响。"[9]

黄昆来玻恩处访问之前,玻恩准备写一本有关晶体点阵力学的著作,并已完成了部分手稿。但由于"其他任务和当时搞的研究阻碍了我继续搞下去。我把这本厚厚的手稿交给黄昆,他深感兴趣,和我一起讨论,……我产生了一个念头,即他可能成为合适的合作者去完成它,于是我向他提出了这个建议"。这就是在《我的一生》中玻恩对二人合作机缘的回忆。出乎玻恩意料的是"他没有立即接受我的提议而回了利物浦。"几个月以后黄昆才答复可以一起完成这部书。玻恩回忆说:"他来了,有一段时期我们过得很愉快而且很有意思。黄昆不赞成我用严格的推导方式构成此书的计划。他是个共产党信徒和唯物主义者,他不需要抽象思维;他把科学看做是改善人民生活的手段。所以他提议在点阵动力学的系统推导之前应该加上一些编章,其中有基本论述以说明这个理论的实际用途。我们为此发生了争执,但他说这是他作为合作者的条件。如果无人合作,这本书将永难完成,我同意了。……这书的最后定稿主要归功于黄昆。令人惊异的是一个中国人能够如此流利而正确地撰写欧洲文字(玻恩第一次到英国时因语言问题几乎一无所获而归,本文作者注)。……最终结果令人满意,因为这书看起来很有吸引力,而且无论是我自己,还是其他任何人都未发现任何错误。"《晶格动力学》一书被人简称为"波恩与黄",是该领域最具权威的一部专著,40多年被物理研究者广泛引用。

在物理学研究方面,1947－1951年黄先生在利物浦大学进行博士后研究期间,主要完成了三项有影响的成果:一项称为"黄-里斯理论"是黄先生与后来成为其夫人的里斯女士合作提出的多声子跃迁理论,另一项是描述晶体中光学位移、宏观电场与电极化三者关系的"黄方程",还有由此引申的电磁波与晶格振动的耦合,即后来称为极化激元的重要概念。1951年回国后,有20余年黄先生主要在北大从事教学工作,培养了我国一大批物理学家和半导体技术专家。进入80年代黄先生迎来了科学研究的第二个春天,1983年证明了在消除康登近似带来的不自洽性后,绝热近似与静态耦合的等价性,与朱帮芬合作提出的超晶格光声子模式的模型及类体模的解析表达式,被国际物理界广泛接受,称为"黄-朱模型。"

自1975年到2001年，据统计，黄昆先生的论著被引用高达7600余次。2001年获国家最高科学技术奖。1990年有记者问：您认为学习物理最好的方法是什么？在学习与研究中应注意哪些问题？他答道："最重要是在学习中贯穿本人思维的主动性。"[9]在《我的研究生涯》中黄老说："我想着重指出，在研究活动中基本上有三个决定性的步骤。我想强调，选择一个真正值得关注的课题是最重要的。……找到一个有效的方法去解决问题的能力，是同样具有决定性意义的。……我要强调的最后一个决定性步骤是，要正确理解自己研究工作所得到的最初结果的意义。"[10]

可歌可颂的人物还有许多，如周培源、施士元、吴大猷……

中国的物理学是在西方物理学的黄金世纪——20世纪才成长起来的。尤其20世纪上半叶，在中国物理学发展史的天空横亘着由中外物理学家共同构建的友谊与合作的七色彩虹，它是量度我们后人短处的尺子，它是照亮后人前程的灯塔，它的高尚光辉更是可以驱杀个人偏狭与低级趣味、洁净我们灵魂的可靠的永不枯竭的能量之源。中国物理界不该忘记我们前辈的这段经历，也不该忘记国外物理学家们对中国物理界的真诚友谊与帮助。

每当重温这段历史，总要产生一些疑问：今天，我们国家较之从前更加强大了，留学深造的渠道更通畅，国内的条件也大大改善了，但今天我们的成就，较之前人更大了，还是与世界前沿的差距更大了？今天留洋的学子，还有没有象赵忠尧先生那样面对密里根这样大名鼎鼎的导师，敢于拒绝研究课题的？会不会还有人能像黄昆先生那样面对大物理学家玻恩主动提出的合作意向，还能大胆地与其进行思想和学术观点的争论与碰撞？还有多少能够面对玻恩这样的物理大师像彭桓武先生那样，坚信一个中国人胜过十个欧洲人？有多少人像钱三强先生那样做出获得国际物理界高度评价的工作？……无论如何，这段历史告诉我们科学虽然追求客观真实，但任何条件下，科学家之气节、自尊自信以及才华和勤奋都是至关重要的，无它，难有造就，无它，难赢得别人的尊重与理解。

参 考 文 献

[1] 戴念祖. 我国早期的近代物理学家. 物理，1983(10)：626.
[2] 戴友夫. 著名科学家演讲鉴赏. 济南：山东人民出版社，1995.
[3] 王淦昌. 深切怀念吴有训先生. 物理，1987(9)：525.
[4] 王周怒，郑志鹏. 赵忠尧和正负电子对产生与湮没之发现. 物理通报，1991(3)：35.
[5] 玻恩著. 李宝恒译. 我的一生和我的观点. 北京：商务印书馆，1979.
[6] 玻恩著. 陆浩等译. 我的一生. 上海：东方出版社，1998.
[7] 沈慧君，郭奕玲等. 几位中国物理学家的故事. 现代物理知识，1995(1)：36.
[8] 钱三强. 徜徉原子空间. 天津：百花文艺出版社. 2000.
[9] 羌茗. 学部委员黄昆教授答本刊记者问. 现代物理知识，1992 (1)：2.
[10]黄昆. 我的研究生涯. 物理，2002(3)：132.

（本文发表于2003年第4期《物理》）

第四章　几个物理文化专题及物理基础知识简介

4.1　什么是“物理学”——物理学概念之沿革

什么是“物理学”？这是科技史，尤其是物理学史不可回避的十分基础的一个课题．近年来物理学概念内涵之演变引人关注，对这方面的了解必将会给教授者、学习者一定的指导和启示。

4.1.1　物理学概念的西方源起

“物理学”(即英语里的 Physics)，最早见于古希腊亚里士多德的《物理学》一书。该书的中文译者张竹明先生指出：这本“《物理学》是一门以自然界为特定对象的哲学。它不同于我们现在的物理学，但却包括了现在的物理学，也包括化学、生物学、天文学、地学等等在内，总之，涉及整个自然科学，它只研究自然界的总原理，是自然哲学。”[1]鉴于亚里士多德的《物理学》中有许多物理方面的错误结论，所以 1949 年因提出了宇宙起源的大爆炸学说而声名大震的美籍前苏联物理学家乔治·伽莫夫曾指出：亚里士多德“在物理学领域中最重要的贡献也许只是创造了这门学科的名字，”这个词由古希腊“自然”一词推演而来。[2]

4.1.2　中文“物理学”一词的来源

1900 年，日本人藤田丰八把饭盛挺造编写的《物理学》译成了中文，由当时上海江南制造局刊印。这本书是我国第一本具有现代“Physics”内容的称为“物理学”的书。

如此说，并非 1900 年以前中国就没有“Physics”。东方的包括中国的近代科学都是从西方传播进口来的，实际情况是从西方传到中国远比传到日本早。不过 1900 年以前，我国译述西方物理学著作没有采用“物理学”的译法，而是多译为《格物学》或《格致学》，如 1879 年有个美国人林乐知将一位叫罗斯古的人的一本物理书翻译成为汉语并命名为《格致启蒙》，其中第二卷为格物学；1883 年美国传教士丁韪良也将一本物理书译为汉语，名字为《格物测算》。(丁韪良英文名 Martin，1888 年曾来中国传教，接触中国古代文明后曾提出“丁韪良猜测”：中国的“元气说”曾影响过笛卡尔提出“以太”旋涡说)。另外，1886 年有译著《格致小引》，1889 年又有《格物入门》出版。

大量史料表明：“格物学”或“格致学”就是“Physics”的早期汉语意译。这两种译法是“格物致知”一词两种形式的缩写。“格物致知”一词源于儒家“致知在格物，格物而后知至”的思想。

应该强调的是日本学者指出：“特别值得大书一笔的是，近世中国的汉译著述成为日本翻译西洋科学译字的依据。”[3]日本早期物理学史研究者桑木或雄说：“在我国最初把 Physics 称为穷理学。明崇祯年间一本名叫《物理小识》的书，阐述的内容包括天文、气象、

医药等方面。早在宋代,同样内容包含在'物类志'和'物类感应'等著述中,这些都是中国物理著作的渊源。"[3]

2002年4月在北京召开了中国近现代科学技术回顾与展望国际学术研讨会,会上仍有学者认为将"physics"译为"物理"不如译为"格物"或"格致"更符合汉语文化。但是"物理学"一词毕竟被中国人逐渐接受了,1902年京师大学堂在格致科下设物理学课目,1912年改格致科为理科,下设物理门。同年金陵大学设物理学课目.1918年商务印书馆出版了由陈榥编写的《物理学》,这是第一本国人命名为《物理学》的"physics"著作。

可见我国用"物理学"译"Physics"还是较晚的。1900年在德国普朗克已经提出了能量量子化假说,标志着物理学跨人了现代的大门,量子力学的序幕已经拉开。

应该指出,在中国"物理"一词出现并不晚,不过含义不同于"Physics"。明代吕坤(1536—1618)著有《呻吟语》,其中卷六第二部分名为"物理",大体是有关物性学的,并用以引申一些关于人文及世界的观点。宋代朱熹(1130—1200)等人常用"物之至理"或"物理"一词。当代著名物理学家李政道曾引用唐代杜甫《曲江两首》中的诗句"细推物理须行乐,何用浮名绊此身"来说明物理一词在盛唐即已出现。[4]其实在中科院哲学研究所和北大哲学系编著的《中国哲学史资料简编》(中华书局)"两汉—隋唐"部分中就记载了三国时吴人杨泉曾著书《物理论》,是研究和评论当时有关天文、地理、工艺、农业及医学知识的著作。更久远的,在约公元前二世纪成书的《淮南子·览冥训》中有:"夫燧之取火于日,慈石引铁,葵之向日,虽有明智,弗能然也,故耳目之察,不足以分物理;心意之论,不足以定是非"之论述。中国古代的"物理",应是泛指一切事物的道理。

4.1.3 关于"物理学"的一般传统认识

一般的物理学教材或辞典手册大都这样介绍:物理学是研究物质运动最一般规律及物质基本结构的学说。具体地说,按所研究的物质运动形态和具体对象,它涉及的范围包括:力学、声学、热学和分子物理学、电磁学、光学、原子和原子核物理学、基本粒子物理学、固体物理学以及对气体和液体的研究等。物理学包括实验和理论两大部分,经过实践检验被证实为可靠的理论物理包括:理论力学、热力学和统计物理学、电动力学、相对论、量于力学和量子场论。当然这些理论也只能是相对真理,有各自的局限性。运用物理学的基本理论和实验方法研究各种专门问题,使物理学中各种新的分支不断涌现和形成如流体力学、弹性力学、无线电电子学、金属物理学、半导体物理、电介质物理、超导体物理、等离子物理、固体发光、液晶及激光等。一些边缘学科也随物理的广泛应用而陆续形成如化学物理、生物物理、天体物理及海洋物理等等。

作为一门学科,物理学之存在须以以下几个要素为前提:

(1) 一种描述性的通过自然现象之间的相互关系来理解和说明自然的自然观。这种自然观建立在两个信念之上:其一是自然有可以被人们认识和理解的理性规律。"相信世界在本质上是有秩序的和可以认识的这一信念,是一切科学工作的基础。"(爱因斯坦语);其二相信自然是实存的,且具有近恒常性而不是唯心主义的迷梦或理念世界的幻影;

(2) 存在一种与上述自然观相适应的定量方法系统来处理现象尤其允许近似量化处理。具体而言就是公理化的逻辑与具有实用可操作性的数学体系,它可说是科学理论的

骨架；

(3) 重视实验，既把实验看成理论的来源，又看成审判理论的法官。如果没有实验这一要素，科学即使能诞生往往也只能是一个封闭的理论构架，虽自身可能逻辑自洽，但因缺乏证实或证伪机制而易流于玄想并丧失进一步发展的生命力；

(4) 社会和文化的需要。

4.1.4 《物理百科全书》中关于“物理学”的解释

美国麦格劳——希尔图书出版公司1983年第5次出版由S·P·帕克主编的《物理百科全书》(科学出版社，1996年8月)，书中关于物理学主要观点如下：

(1) 物理学在以前称为自然哲学.物理学涉及自然的某些方面，它们可以通过一种基本的途径，即依据一些基本原理和基本定律来加以理解。随着时间的推移，不同的特殊学科从物理学中分化出来，形成自己的研究领域。(典型的分化论，本文作者注)在此过程中，物理学保持着它的本来目的：理解自然界的结构和解释自然现象；

(2) 物理学的最基本部分是力学和场论。力学涉及质点或物体在给定力作用下的运动。场物理学则涉及万有引力场、电磁场、核力场以及其他力场的起源、本质和特性。力学和场论合在一起就构成了理解科学上所提出的自然现象的最基本途径.最终目的是要通过这两个方面理解全部自然现象；

(3) 物理学的较古老的或者称经典的分法，是以自然现象的某些一般类型为基础的。当时，对于这些自然现象是已经知道特别适合于应用物理学方法来研究的。按照这样的分法，计有经典力学及其分支天体力学、流体力学和弹道学；热学和热力学；气体运动论和统计力学；光学、声学；以及电学和电磁学。这样的分法现在都还通行，但其中有许多越来越有被列入应用物理学或技术的分支的趋势，越来越不属于物理学本身的固有的分支了；

(4) 数学物理学是用数学来研究物理现象，它包括所有各门物理学中较数学化的部分以及统计力学、量子力学、相对论和场论的绝大部分内容。通常在数学物理学和理论物理学之间所作的区别是：对于后者，虽然形式上也全都是数学，但它被认为是更接近于实验物理学的。然而，不论是数学物理学还是理论物理学都不可能真正与实验物理学分开，因为对自然的完全理解，只有同时应用理论和实验才能得到；

(5) 在物理学的各个领域内，其特点与其说是取决于所涉及主题的内容，还不如说是取决于对所探索内容理解的精确性和深度。物理学的目的是通过数学建立一个统一的理论体系，它的结构和行为要尽可能最广泛地复现整个自然界。其他科学只满足于用本门学科的特殊局限概念来描述和联系各种现象，而物理学则总是探索着把对同一现象的理解，作为一个特殊的表现形式而纳入作为整体的自然界的基本统一结构。按照这样的目的，物理学的特色就在于：精密的仪器设备、精确的测量以及通过数学来表达所得到的结果。

《物理百科全书》的这种特色说显然有问题，既言特色就该是独具的，可你能以此区分物理与化学吗？化学家赫许巴赫的高论有助于我们在一定意义上区分物理与化学：

“典型化学家高于一切的愿望是理解为什么一种物质和其他物质行为不同；而物理学家则通常期望寻找超出特定物质的规律。”

4.1.5　朝永振一郎关于"物理学"的见解

朝永振一郎(1906—1979)是日本理论物理学家,因在量子电动力学方面的贡献获1965年诺贝尔物理学奖。

1977年10月是日本数学物理学会成立百周年,在纪念大会上,朝氏以"什么是物理学"为题目做了一个报告[5]。但他只讲了几段物理学历史及物理学与技术的关系,并没有直接回答这个问题(至少从汉译文看来如此)。他说:"不过依我看来,物理学以像模像样的自然科学形式出现,似乎是在开普勒、伽利略、牛顿时期才开始的。"开普勒主要研究行星围绕太阳的运动,与开普勒不同伽利略则研究地上现象。牛顿将两人的成果集中起来再进行深入研究,建立了牛顿三定律和万有引力定律。

朝氏认为现代物理学的性质有二:第一,采用观测或实验方法;第二,用数学来表达定律。

他认为我们要用物理学来了解存在于自然深处的规律,这个思想在考虑什么是物理学时不可忽视。

朝氏强调物理学进一步发展不仅使自身范围扩大了,由力学发展到光、热、电磁、原子和分子等方面甚至连化学等也纳人了物理学史。有重新统一一切现象、整合一切学科的趋势,我们不妨与分化论相对称之为统一论。著名物理学家卢瑟福也有一句名言:"一切科学要么是物理学,要么是集邮术。"[6]这可以看成物理学大统论的最简洁的定义说明。

4.1.6　哥本哈根学派的观点

以上的观点虽有不同,但都不违背牛顿的说法:"自然哲学的目的在于发现自然界的结构和作用,并且尽可能把它们归结为一些普遍的法则和一般的定律——用观察和实验来建立这些法则,从而导出事物的原因和结果。"[7]就是说科学的目的是发现客观的与人无关的自然规律或真理。

这种思想在微观领域受到了冲击。

在这种领域,观测对现象的影响是不可忽略的。因此以玻尔(N·Bohr)、海森堡(W·Heisenberg)为代表的量子力学哥本哈根学派断言:认为物理学的任务是去发现自然界是怎样的是错的,物理学涉及的是关于自然界我们能说什么。他类眼中的自然界可能完全不同于我们眼中的自然界。"描述自然界的目的不在于提示现象的真实本质,而只在于尽可能远地把多种多样经验的各个方面之间的关系追溯出来。"(玻尔)[8];"自然科学不是自然界本身,而是人和自然界之间关系的一部分,因而就依赖于人,有人的烙印"(海森堡)[8],"当你寻求生活的和谐时,你必须永远不要忘记,在生存的戏剧中我们自己既是演员又是观众。"(玻尔)[8]显然量子力学的科学观与其前物理相比出现了巨大的变化。

4.1.7　"未来我们选择怎样的物理学?"一文的相关思想

S. M. Gruner 和 J. S. Langer 在1995年第12期《Physics Today》以"未来我们选择怎样的物理学"为题发表了文章,认为物理学概念的演变就是被定义得越来越狭窄了。为了拯救物理,如今物理学家对物理学的定义不是根据那些特定的专业和领域,而是基于那些不同时期和不同研究活动结合为科学家共同体的一组概念工具。分别是:

(1) 在一组核心学科方面接受过高级训练. 目前这些学科有力学、电学、磁学、热力

学、统计力学和量子力学等;

(2) 掌握了研究物理现象所使用的定量方法和整理数据的方法;

(3) 有较强的抽象能力和打破常规的勇气和精神、能超越特定研究对象的洞察力和对问题本质的把握;

这些概念化工具比其他任何特征和标准更能使物理学家区别于其他科学家。最能体现物理学家与其他科学家不同的地方,不在于他们所涉及的领域,所研究的问题,而取决于他们所采用的研究方法和所寻求信息的特征。天文学家研究脉冲星,生物学家研究生命系统,物理学家对二者都关心,因此这两者都是物理学的研究对象。

4.1.8 赵凯华先生的观点

纵观20世纪物理学研究对象的扩展,从宏观到微观,从传统的物理过程到化学过程(量子化学),从无生命的到有生命的……从不同角度看,学科既有分化又有统一整合,分化论与统一整合论都有道理都有事实依据,二者绝不是非此即彼势不两立关系。由于统一与分化学科得以向广度和深度发展。分化标志着科学局部发展的成熟,统一整合标志着科学整体认识上的深入。但也正由于统一与分化,使得现在很难用传统的眼光来界定什么是物理学。一位外国物理学家风趣地自问自答:What is physics? Physics is what physicists do。按逻辑,人们应继续问:What are physicists? 答案可借鉴上面提到的Gruner和Langer关于物理学家共同体概念给出。

赵凯华先生说:"我想给这句话加个注解。物理学家所做的研究怎样才算得上是物理工作?论文能为国际上公认的物理杂志或物理学术会议所接受,可算得是一条充分条件。"[9]1995年在我国厦门召开了第19届国际统计物理大会。大会的论文摘要中出现了按传统的观念不像物理名词的词汇,如细菌生长、生物进化、生物膜、轮轴藻细胞、细胞色素C、厄尔尼诺、南方振荡、红血球、心率、鸟儿为什么一起飞、免疫网络、曲折的河流、神经网络、沙堆模型、交通流量等等。"可见,今天已不可能再用研究对象来界定什么是物理学,物理学是所有自然科学和工程技术的理论基础,物理学代表着一套获得知识、组织知识和运用知识的有效步骤和方法。把这套方法运用到什么问题上,这问题就变成了物理学。"[9]这与Gruner和Langer的观点在精神上是相似的。

近年来还有另一现象影响着人们对物理学看法的改变。

现在有不少物理专长人才毕业后不搞物理。这就要求物理学必须相应有所改变。1996年国际大学物理教育学术研讨会在美国马里兰大学召开。大会发布统计数据是在美国有超过60%的物理专业毕业生进入了各工业部门,获得学士学位的毕业生中有过2/3的人不从事物理方面的工作,英国的统计数字大体与美国相似。在我们国内也存在这一现象.按传统看法这是"用非所学",是人才培养上的失误和浪费。赵凯华先生认为这是正常现象,他说:"一个人学了物理学之后干什么都可以,他的物理学没有白学。……在我看来,对于学物理学的人无所谓'改行'……"[9]。中国恒大集团总工程师光电技术所所长宋菲君也说过:"有什么比掌握'四大力学'更困难?能够掌握四大力学的人只要下功夫,从事什么职业都会有所建树。物理学工作者特别适合于从事高新技术开发,做创新的工作。"[10]赵、宋二先生的说法,只有在打破过去对物理专业的认识,彻底树立物理学方法

论的新物理观基础上才能得以正确理解。

4.1.9 启 示

前面几家几方面关于“物理学”的观点，可以说有同有异，莫衷一是。可以肯定的是，“物理学”概念的内涵已经且正在发生着演变。如果说物理学过去在物质上精神上曾很好地造福于人类，这种辉煌成就的获取与物理学先辈们十分富有打破常规的勇气和探索精神密不可分。今天和明天的人们认识到物理学是一套获得、组织、运用和探求知识的有效方法至关重要很有意义。这样的认识无论对学习物理的人还是教授物理的人都应上升为一条思想上的指导学习工作的原则。一旦物理学方法论思想不再是设想，而真真实实深人人们的灵魂深处，那么学习物理的人就不再会满足于背点概念公式做几道题，而是更注重在一定的基础上对物理思想物理方法的领悟，并能在诸多领域得以应用，指导自己的生活学习和工作。当然，物理方法不是空谈即能掌握的，它只能形成于良好的物理专业素质之上。这要求广大物理教师必须致力于履行素质教育。良好的物理专业素质主要体现为清晰全面准确的物理思想、扎实的数学应用能力和较好的实验能力几个方面，简言之，即具备良好的理论素质及实验素质，且对学生打基础而言这二者同等重要，不可偏废。2002年6月20日丁肇中先生在CCTV的东方之子栏目中说得好：在学校成绩好，就做理论；动手能力强，就做实验。这种观点是完全错误的。很多成功的实验物理学家都精通理论，做实验最重要的是找题目，动手能力、做法是次要的。

另一方面，物理学史告诉我们，一流的理论物理学家往往也具有扎实的实验基础。牛顿做过许多著名的实验，这不必再说，研究认为爱因斯坦读大学时曾用很大精力做实验，这对其后来获得巨大的理论成功而言至关重要。

“物理学是一门实实在在的科学，是一门久经考验的科学，是一门伟大而艰巨的科学，那些昙花一现的理论，学说和物理学是无可比拟的，那些在改革浪潮中用蛊惑人心的语言装饰起来的雕虫小技更是不值一提，物理学的发展就像宇宙演变一样永不止息。”[11]

这话感情色彩较浓，但不无道理。

参 考 文 献

[1][古希腊]亚里士多德著，张竹明译．物理学．北京：商务印书馆，1997.

[2][美]乔治·伽莫夫著，高士圻译．物理学发展史．北京：商务印书馆，1981.

[3]杨玉．关于中译“物理学”名称的由来[J]．物理，1987，16卷(1)，57.

[4]李政道．艺术与科学[J]．科学，1997(1)：5.

[5]李顺祺译，朝永振一郎．什么是物理学[J]．自然杂志(增刊)，1982，现代物理第2辑：27.

[6]冯端．漫谈物理学的过去、现在与未来[J]．物理，1999，(9)：524.

[7][美]H·S·塞耶著．牛顿自然哲学著作选．上海外国自然科学哲学著作编译组译．上海：上海人民出版社，1974.

[8]卢鹤绂著．哥本哈根学派量子论考释．上海：复旦大学出版社，1984.

[9]赵凯华．谈谈物理学与自然科学中姐妹学科的关系[J]．物理，1997(12)：755～756.

[10]宋菲君．续谈物理学工作者与高新技术开发[J]．物理，1999(1)：38.

[11]曹昌年．世纪之交物理学思考之三——不可忽视的教育[J]．物理，1999(1)：6.

（本文发表于2004年第1期《大学物理》）

4.2　物理学基本概念、思想与方法

无论人们对科学技术持什么样的态度，科学技术改变着世界，改变着人们对自已对世界的看法和认识的现实是不能否认的。

在现代科学技术中，物理学占据举足轻重的地位。在任何一个行业，在生活中的方方面面，处处都有物理学的影子。对物理学的基本概念、重要思想和一般方法有所了解，无疑是十分有益的。对于物理专业的本、专科学生可以有选择性的介绍几个比较前沿的不为他们所熟悉的物理概念；对于其他专业尤其文科学生，教师可以根据实际情况有选择地多介绍一些这一部分知识。

4.2.1　物理学基本概念

4.2.1.1　质　量(mass)

质量一词源于拉丁文中之 Massa 一词，意即原子的总和。伽利略基本接受了质量这一较原始含义。

开普勒认识到星体的运动有一种内在阻抗力——惯性，由星体的体积及密度决定。

玻意尔在研究气体的压强与体积关系时认为密度表示气体颗粒的疏密程度。

1620 年弗·培根在《新工具》中说质量是“物体所含物质的量”，与今天中学生第一次接触这一概念时的说法一致。

牛顿在其《自然哲学之数学原理》(王志迪译，武汉出版社，1992 年)中给出的第一个定义就是：“物质的量是物质的度量，可由其密度和体积共同求出。”他进一步解释到：“此后我无论在何处提到物质或质量这一名称指的就是这个量。从每一物体的重量可推知这个量，因为它正比于重量……”

1867 年德国物理学家马赫(Mach)指出：“至于质量概念，我们首先注意到牛顿把质量定义为物体的物质的量，公式为体积与密度的乘积，这是不幸的。因为我们只能把密度定义为单位体积的质量，循环论证是显而易见的。”牛顿会犯这样的错误实在令人不解。虽然多数后人都承认这是循环论证，但也有人不这样看，因为“在牛顿时代，密度与比重是作为同义词使用的，而水的密度却是任意规定的。人们使用三个基本单位，……因此密度、长度、时间取代了我们今天的质量、长度、时间。在这样一套单位制中，以密度来定义质量是自然的，逻辑是也是允许的。”(《自然哲学的数学原理》,645)

马赫在指出牛顿定义的弱点后，依据牛顿定律给出一个质量的操作定义：用两个物体相互作用时，它们获得的加速度的负比值作为它们质量的反比。1876 年，麦克斯韦又提出用一个确定的力先后对两个物体施加作用时它们所获得的加速度的比值作为它们的质量反比这一定义。通过加速行为定义的质量叫惯性质量。另一方面，根据物体受引力的大小来确定的质量叫引力质量。两种质量分别出现在牛顿第二定律和万有引力定律之中。

1916 年 Einstein 在《广义相对论的基础》一文中，提出惯性质量等于引力质量的等效原理。

在狭义相对论中的质量与在牛顿力学中的质量有巨大变化，它是相对的：

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

狭义相对论还有关于质量的重要结论——质能关系：

$$E=mc^2$$

进而有：$\Delta E=\Delta mc^2$。

由此可成功解释原子核及粒子的运动现象。相对论加深了人们对质量概念的认识。

4.2.1.2 力(force)

即使在远古时代，我们可以想象，人们也会从人体肌肉使劲把石块抛出等活动中体验到力的观念。墨子的“力，形之所以奋也”是较早的有意识对力的界定，认识到了力与形变的内在关系。

力是常常能被感受到又总是十分抽象的。因此，人们对它的认识过程十分漫长。牛顿说：“哲学的全部任务看来就在于从各种运动现象来研究各种自然的力，而后用这些力去论证其他的现象。”这一论断，在牛顿那一时代无疑代表了科学的主流。尽管如此，牛顿仍在他的著作中称物体的惯性为“惯性力”，且还有什么“运动力”“加速力”以及“绝对力”等为后来科学所抛弃了的说法。在牛顿之后，达兰贝尔将动量或动能仍称“运动物体的力”，亥姆霍兹则没有区分力与能量。直到十九世纪下半叶，人们才根据牛顿第二定律：$\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}$，用力专门表示使物体产生加速度的外界的影响。

可以从下面几个方面而加深对力的认识：

1. 力是物体间的相互作用

世间万物，无一是绝对孤立者，相互之间总是有关联的。物体之间的相互联系与影响可用“力”来描述。

费曼说：“力的最重要的特性之一是它有一种物质的来源……”(R. P. Feynman et al., The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1. Addison-Wesley, 1963, §12—1)所以，一般说来，力总是离不施力物与受力物，且不可能只有施力物而无受力物，或只有受力物而无施力物。物体间的作用满足牛顿第三定律：作用力与反作用力，总是大小相等，在同一条直线上但方向相反，分别作用于不同物体。

2. 力的作用效果

不同的力作用效果不同。力的作用效果(或确定一个力)取决于力的三要素：力的大小；力的方向；力的作用点。

力的作用效果的表现形式：一是使物体产生形变这叫内效应，二是使物体产生加速度这叫外效应。

3. 力的分类

目前物理学认为力可分为四类：万有引力、电磁力、强相互作用力与弱相互作用力。所有物体因为具有质量而相互吸引的力即万有引力，其大小为：$F=G\frac{Mm}{r^2}$。

电力与磁力从相对论来看是同一种力，所有含有光子的作用都是电磁作用。在一个参照系看是电力，在另一参照系即可能是磁力。

强相互作用力也叫核力，即原子核内中子或质子(统称核子)之间的相互作用；弱相互作用指轻子和强子之间的相互作用，所有含有中微子的相互作用都是弱作用。

在日常生活中我们接触的弹力、摩擦力本质上仍属于电磁力，源于原子、分子间的电磁相互作用。

4.力学中从等效的观点出发有合力与分力的概念

求两个力的合力，应遵照力的平行四边形法则，以这两个力为邻边作平行四边形，其间的对角线即可表示这两个力的合力。

反之，已知合力求分力叫力的分解，仍遵照平行四边形法则，但应考虑这个力产生的实际效果。

5.借助其它量的力的定义 $F=\frac{W}{S}$

W——功即转换的能量；　S——移动的位移。

因此，力是物体转换的能量与发生位移之比即物体移动单位距离时所转换的能量。

$$\boldsymbol{F}=\frac{\Delta \boldsymbol{P}}{\Delta t}=\frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

$\Delta \boldsymbol{P}=mv_2-mv_1$；$\Delta t$——时间间隔。

因此力是物体运动量(动量)增量与所用时间之比，即物体单位时间增加的动量。

4.2.1.3　场(field)

英国物理学家法拉第(Michael Faraday,1791—1867年)在对电磁感应、电介质、抗磁性等实验研究的基础上，酝酿出了“力线”的观念。他将铁屑撒在磁铁周围，铁屑即呈现出规则的曲线，从一磁极到另一磁极连续不断。他称之为“力线”，并认为，力线是真实的，具有物理性质的。他测出感应电流的大小取决于导线切割磁力线的数目，而与导线的位移无关。磁极是力线的起点，其周围空间布满了向各个方向散发出去的“力线”。他在这基础上首先提出了场的“概念”，把布满磁力线的空间称为磁场，磁力是通过这种连续的物理场传递的，电荷周围的电场具有相似的性质。这样他就打破了牛顿力学的“超距作用”思想。

1846年，他发表《关于辐射线振动之思考》一文，文中提出电力线和磁力线的振动，可以产生光和其他辐射现象。

爱因斯坦在《物理学进化》(A.爱因斯坦　L.英费尔德著.周肇威译.上海科技出版社，1962年，108～109)一书中说：“在最初，场的概念不过是作为我们便于从力学的观点去理解现象的一种工具。新的场的语言(指麦克斯韦方程组，著者注)不是对带电体本身而是对带电体间的描述，场的描述对了解带电体的作用是很重要的。对于这种新概念的认识是逐渐成长的，到后来，场竟把物质也掩蔽起来了。于是大家觉得在物理学中发生了某种非常重要的事件。一种新的实在产生了，一种在机械观中没有地位的新概念产生了。场的概念经过一番奋斗逐渐地在物理学中取得了领导地位，而至今还是基本的物理概念之一。在一个现代物理学家看来，电磁场正和他所坐的椅子一样地实在。”不仅存在可以

说看不见摸不到的电磁场,而且可以说有一种相互作用,就存在一种相应的场。在物理学中,场论就是研究各种物理场的运动规律及其相互作用的理论。场论认为,场是物质的一种存在形式,场的存在与实物的存在并不矛盾,它们是物质存在的两种形态。场本身具有能量、动量和质量,在一定的条件下场还可以与实物相互转化。把量子力学原理应用于场,就是量子场论。该理论认为,场与基本粒子有不可分割的联系,即一切微观粒子都可以看成相应场的最小单位(量子)。如电子与电子场相联系而存在,光子则与电磁场相联系而存在。因此,一切相互作用都可归结为有关场的相互作用。按照这种观点,场和实物并没有严格的区别,整个自然界就是间断性的实物与连续性的场的统一体。

4.2.1.4 能 量(energy)

能量是一个系统对另一个系统做功的本领。这是较通俗简洁的界定和理解。

能量一词,是 1801 年英国物理学托马斯·杨(Thomas Young,1773—1829)首次提出的。"用'能'这个词来表示物体的质量与速度平方之积是很妥当的。"([美]威·弗·马吉编,蔡宾牟译,《物理学原著选读》,北京:商务印书馆,1980 年,66)但是这个词并没有被当时的科学界所接受。

法拉第的自然力相互联系相互转换思想为能量一词最终被物理界认同起到了很大的作用。奥斯特发现了电流的磁效应,法拉第发现了电磁感应定律,这使法拉第坚信:自然界各种运动都是可以相互转化的,因而本质上是统一的。1845 年发现的磁致旋光现象,提示了电、磁、光三者的联系更加坚信了他的信心。更多的科学家逐渐认识到肯定存在一种"能",这种"能"按照各种情况以机械能、化学能、电能、光能、热能或磁能等形式出现,所有这些运动形式的任何一种都可以转化为其他一种。迈尔、焦尔、亥姆霍兹等人的多年努力,终于得到结论:能量守恒与转化定律。从本质上看,能量不是对机制或具体事物的描写,而是因为不同运动形态间"转化"和"守恒"规律的存在而被定义的,因此应该从"描述物体运动状态的函数"以及具有"多样性"、"转化性"和"守恒性"等方面去把握能量概念。

4.2.1.5 动 量(momentum)

1638 年,伽利略初步提炼出动量概念,说动量是物体重量与速度的乘积。

1644 年,笛卡尔在伽利略基础上提出运动的量是物体质量与速度之积,并从哲学角度提出运动量守恒思想。

1669 年,惠更斯明确提出动量是矢量,即像力一样具有方向性。

1687 年,牛顿给出了今天的动量的定义。动量 $\boldsymbol{P}=m\boldsymbol{v}$。

动量可用来表达牛顿第二定律:$\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}t}$。

在物理学中与动量相关的有:动量定理、动量守恒定律、角动量定理以及角动量守恒定律。动量守恒定律在物理学中是有广泛的适用范围的守恒律之一,其应用范围远在牛顿定律之上。在微观领域,海森堡的测不准原理可借动量表达为:$\Delta x\Delta p\geqslant\frac{h}{2}$。

动量或运动的量是物理学非常重要的物理量之一。

4.2.1.6 系 统(system)

所谓系统,就是由相互依存相互作用的部分构成的有机整体。客观事物,在一定程度

上都是系统。一般地讲物理学研究的对象即系统。但因问题需要为突出主要矛盾，有时可能不考虑其内部组成、大小、形状，而有时可以抽象成质点，或没有形变的刚体。物理学上将研究对象称为系统如热力学系统时，一般是在考虑其组分、形变等的情况之下。这时，对这些对象仍仅作为力学原理指导下的研究，往往是十分不够的。

4.2.1.7　熵(entropy)

1865年，克劳修斯给出了熵的概念。逐渐地这一物理量不仅在物理、化学、生物等自然科学领域被广泛使用，而且在工程技术、经济和社会领域也获得较好的应用，成为少有的跨学科概念之一。另一方面，直到1989年普利高津这位创立布鲁塞尔学派的诺贝尔奖得主在《熵是什么?》一书中还说："熵是一个很奇怪的概念，不可能作一个完备的描述。"

回到克劳修斯最早的研究。在提出熵概念之前，他已研究出了热力学第二定律，他"为了把第二定律用最简单的数学分析式表示，假定物体所经历的变化构成了一个循环过程，亦即物体又回到了它的初始状态……如 dQ 是(物体在循环过程中的一小段路途上)所吸收的热量，即热元，T 是吸收这部分热元 dQ 时物体的绝对温度，如果把该热元用这温度去除，并把由此确立的微分式对整个循环过程积分，则有　$\oint \frac{dQ}{T} \leqslant 0$。

这里等号用于循环过程中一切转变都以可逆方式进行的情况，而当转变以不可逆方式进行时，则应用小于号。"如用 S 来表示这个由积分而得的量，则因　$\frac{dQ}{T} = dS$，从而 $S = S_0 + \int \frac{dQ}{T}$。

这里 S_0 为 S 的初态值。

关于 S 的含义，克劳修斯称它为物体的变换容度，即物体的转变含量，因为这个量通常用$\frac{dQ}{T}$进行积分求得，他建议称 S 为熵(entropy)，他说："我有意把这个字拼为 entropy，以便与 energy(能量)尽可能地相似，因为这两者所表示的量，在物理上都具有重要意义，而且关系密切，所以名称上的相似，我认为是有好处的"(《物理学原著选读》，249～252)。

能量概念，从正面量度着运动转化的能力，能量越大运动转化的能力越大。熵却从反面，即运动不能转化的一方面量度运动转化的能力，表示转化已完成的程度，即运动丧失转化能力的程度。

克劳修斯还证明了任何孤立系统的熵永远不会减少，或者说，自然界的一切自发过程，总是沿熵增加方面进行，这就是熵增加原理。熵增加原理表明：在没有外界的作用下，一个系统的熵沿着增加的方向进行，一个系统熵越大越接近平衡态。

熵增加原理提示出了自然过程的不可逆性。

此后的物理学家证明，仅依据力学规律导不出熵增加原理。

随着研究的继续，熵的含义被认识得愈加深刻：它可以作为能量在空间分布均匀度的量度；它表征系统内部粒子运动的混沌程度，是系统内部无序度的量度；它是系统失去信息多少的量度；它是宏观态出现的概率；它是系统过程方向的判据…

借助于熵，热力学第二定律的积分形式数学表述为：$S_d - S_c \geqslant \int_c^d \frac{dQ}{T}$。

微分形式数学表述为：$dS \geqslant \frac{dQ}{T}$。

等号对应可逆过程，不等号对应不可逆过程。

4.2.1.8 线性与非线性(linear and non-linear)

虽然线性在较早的数理领域就已显示其独特处，但没有引起科学家们的充分广泛注意，到了20世纪，人们几乎在每一科学领域均发现了非线性现象。

对线性和非线性的认识一般从下面两方面开始：

(1) 两物理量之间的关系是一次函数形式，即 $y=ax+b$(a,b 为常数)。在这种情况下变量间的相对变化是恒量，即函数的斜率在定义域内处处相等。这时我们就说 y 是 x 的线性函数。另一方面物理量之间关系是与线性关系 $y=ax+b$ 不同的其他函数关系式，就说 y 是 x 的非线性函数。从系统论观点看，线性关系相当于传统意义上的 $1+1=2$，部分之间的耦合不会产生不可忽略的效应，而非线性关系则是 $1+1>2$，部分间的作用产生新的特性，整体大于部分的机械和；

(2) 物理问题一般均可浓缩为微分方程。微分方程是未知函数及其各阶导数的一次方程，就叫这个方程为线性的。反之则称为非线性的。线性方程满足叠加原理：如果 φ_1、φ_2 是方程的两个解，则 $a\varphi_1+b\varphi_2$ 也是线性方程的解。这仍反映出子系统间没有非线性作用，子系统只是互不相干地做出独立的贡献。另一方面非线性方程不满足叠加原理，即子系统间的相互作用导致交叉耦合项的必然存在。1946年爱因斯坦在《自述》中就强调指出"真正的定律不可能是线性的。这种(线性)定律对于它们的解来说是满足叠加原理的，因面并不含有关于基元的相互作用的任何论断。真正的定律不可能是线性的，而且也不可能从这些线性方程中得到。"非线性是混沌、分形等物理分支的存在根据，决定了非线性系统丰富多彩的形态的存在。

4.2.1.9 混 沌(chaoes)

在古代，无论巴比伦、印度还是中国的神话中都把开天辟地之前的形态称为混沌。牛顿曾沿用这一概念，太阳系"来源于一个均匀散布于整个空间中的物质混沌，而宇宙生成的过程是一般的混沌分解为特殊的混沌。"(塞耶：《牛顿自然哲学著作选》，上海人民出版社，1974年，64，74)

1890年，彭加勒在研究三体问题时发现："初始条件的微小差别在最后的现象中产生了极大的差别，前者的微小误差促成了后者的巨大误差。预言变得不可能了……"(彭加勒：《科学的价值》，光明日报出版社，1988年，309) 这一思想即在20世纪后期被发扬光大的混沌理论中重要的"蝴蝶效应"：由于全球气象可能处于混沌状态，因此有一只蝴蝶在巴西拍动翅膀，可能在美国德克萨斯州引起一场龙卷风。

20世纪后半叶，数学、物理、生物、化学……各学科都研究混沌，混沌是具有某些属性的新物质运动形式，这些属性包括：非周期性、不稳定性、不可预测性、普适性、内在随机性、非整数维和无穷嵌套自相似几何结构等。简单地讲，混沌指可用确定性方程制约的有限系统，由内在随机性导致的不可预测的运动状态。

系统对初始条件的敏感性源于非线性，非线性决定着 $1+1\neq2$，这就有无限制放大的

可能性。一个实际的系统,由于无法避免的内部涨落与外部影响,从而初始条件的敏感依赖性必然导致运动的随机性:一方面状态空间可能出现分岔,另一方面状态空间有限范围内的轨道就必然折叠,否则轨道要么是封闭曲线(周期运动)要么将延伸至无限远(发散)。因此状态空间内不断随机分岔与不断折叠必然造成混沌态。

4.2.1.10 对称性自发破缺(spontaneous symmetry breaking)

在现代物理中对称性是个重要的概念,描述它要用的数学语言是群论。

生活中的对称通常指形状的空间对称如左右对称。现代物理中的对称性具有更广泛的意义。

物理体系从一个状态变到另一个状态的过程叫"变换",变换实际上对应着操作。如果一个操作使体系从一个状态变换到另一个与之等价的状态,或者说,状态在此操作下不变,我们就说体系对于这一操作是"对称的",而这个操作也叫体系的一个"对称操作"。

常用的对称操作是转动、平移、镜象反射以及标度变换等。

物理学的研究证明,对应于每一种对称性都有一条守恒定律。例如,对应于空间反演对称性有宇称守恒定律,对应于时间对称性有能量守恒定律等等。

1849 年皮埃尔·居里(Pierre Curie)提出了对称性原理:原因中的对称性必反映在结果中,即结果中的对称性至少有原因中的对称性那样多。

一个体系原来具有较高的对称性,突然之间对称性明显下降,此即所谓的"对称性自发破缺"。

在一个体系中存在或受到破坏对称性的微扰时,破坏对称性的作用被放大,最终在现象中表现出明显的后果,即产生对称性的破缺。一个体系的稳定性与其内部或外部的参量有关。有的体系,当有关参量达到一定临界值时会突然失稳,对称性破缺在这种条件下就发生了。物理学中的相变一般都属于这类现象。

对称性也意味着不可分辨性。对称性越高,信息量越少。如热力学平衡态对称性最高,熵最大,系统最混乱,不存在外界可观测的定向运动。可见对称性和熵有内在的联系。另一方而牛顿定律具有伽利略变换不变性,这种对称性使我们不能分辨绝对运动与绝对静止。再如,一只洁白无瑕的花瓶具有完美的轴对称性,我们就无法分辨它的前后左右,即它绕中心轴的方位是不可认识的。

在高能物理中,对称性自发破缺(spontaneous symmetry breaking)指某些系统的基态(真空态)所具有的对称性低于这一系统的拉格朗日函数所具有的对称性。南布 1960 年最早将对称性自发破缺引入相对论、量子场论中。现代量子场论认为,真空不是空无一物,而是量子场之间相互作用,包括自作用,决定量子场最低的状态——基态。

一个物理体系最低能量状态(基态)的对称性可能和拉氏量中势能的对称性一致,也可能不一致,这要看势能函数的具体情况。如果量子场系统自作用势能曲线相对最低点左右对称,而且这一点也是系统能量最低状态,这时真空态和相互作用具有相同的对称性,这叫普通真空或正常真空。从这样真空中激发出来的物理粒于,也具有同样的对称性。

如果量子场系统自作用势能曲线不具备抛物线状左右对称性,虽然能量最低态仍在

势能量子低点,这时系统的真空态(量子系统基态)的对称性较相互作用(或者说较系统的拉氏函数)的对称性少。此时,相互作用的对称性不反映实际物理系统的对称性,这就是对称性的自发破缺。

这就是说,虽然描述一个自然系统的状态的方程式是对称的,但这种状态本身是不对称的。因为这种不对称的状态可以变为不稳定的,从而有助于构成自然系统组分之间形成某种特定的关联,导致对称性自发破缺。进一步破缺使对称性减少,显现系统更多的信息。总之,自发破缺并非源自物理学定律,而是来自真空,是一定条件下量子场间的相互作用,使真空发生自发破缺,从而导致实际观察到的不对称性,显示真空的丰富内容和作用。

4.2.2 重要思想

4.2.2.1 日心说

尼古拉·哥白尼(Nikolaua Copernicus,1473—1543)是波兰天文学家。十岁丧父而由舅父收养,他舅父是埃尔门兰德地区的主教。哥白尼十八岁入大学学习数学和天文学,1496年,他到意大利留学,先后学习法律、医学和神学,但他最关心的仍是天文学。1503年他回到波兰,为舅父当秘书和私人医生。1512年任牧师职务,但把全部余暇用于天文观测和新的宇宙体系的研究上。1543年,正好在逝世之前,在病床上他看到自己的巨著《天体运行论》的印刷本。

哥白尼年轻时深受文艺复兴时意大利新柏拉图主义影响。新柏拉图主义者认为太阳是宇宙中心,地球绕太阳转,并进而吸取毕达哥拉斯学派的思想,追求数的神秘性。这些思想无疑为后来他提出日心说起了巨大作用。由神秘主义的引导而形成的科学日心说,实际上是自然科学向神学的第一次挑战,在某种程度上,也是自然科学从神学中独立出来的标志。

哥白尼的学说是一个崭新的宇宙体系,有许多自己的明显优点:

首先,他具有内在简单性。解释天体的运动,不再需要托勒密地心说必需借助的八十多个繁琐的环环相扣的圆。清代学者郑复光在其著作《费隐与知录》中,如何评价哥白尼的日心说:地心说"不如设太阳于宇宙中心而地球及余曜皆旋绕太阳以借太阳之光。斯证不亦便捷乎?是其说亦未尝认为必然,而如是推算便捷无疑,理则较足耳。"

其次,该体系具有内在的谐和。实际上行星应该作什么的运动,才会结构出最简单最和谐的天体几何学,是哥白尼最关心的问题,他在当时最大限度达到了这一目标。

最后,哥白尼的学说中还提出了富有启发性的如运动的相对性以及认为所有天体都具有引力从而开辟了解释行星运动的动力学途径。

哥白尼日心说,摧毁了"人类中心论",使人丧失了在宇宙中的特殊地位,也粉碎了"天界是神圣的"的观念,并进而导致世界的物质统一性结论,为科学的发展奠定了可靠的基础。

4.2.2.2 牛顿运动定律

(1) 牛顿第一定律,亦叫惯性定律。任何物体都具有的保持其原来运动状态的特性

即惯性。

定律表述:任何物体都保持静止状态或匀速直线运动状态,除非施加外力迫使其改变这种状态。

惯性定律的意义及作用:

其一,第一定律给出了惯性的概念,即一切物体都具有的保持运动状态不变的特性;

其二,第一定律定性给出力的定义:力是物体间的作用,力是改变物体运动状态的原因;

其三,在一参照系中,物体不受外力而保持静止状态或匀速直线运动状态,该系即惯性参照系,即第一定律给出判断参照系是否惯性系的标准;

(2) 牛顿第二定律是牛顿运动定律的核心,其公式表达(限于直线运动)为:

$$\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}=m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}(m\boldsymbol{v})}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t}$$

内容是:质点所受合力等于质点的动量对时间变化率,或质点的加速度与所受外力成正比,与质点质量成反比,与外力方向相同。

应用对象:质点;

运用条件:惯性系中的宏观物体的低速运动。

知道物体受力情况及物质质量,由牛顿第二定律可求加速度:

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\boldsymbol{F}}{m},\text{则有 }\boldsymbol{v}=\int_0^t\frac{\boldsymbol{F}}{m}\cdot\mathrm{d}t$$

可求物体 t 时刻速度,进而由 $s=v_0t+at^2/2$,如已知物体初位置,还可求物体末位置。这样物体的状态就确定了。

(3) 牛顿第三定律,也称作用反作用定律,内容是:两个物体间的作用力与反作用力总是大小相等、方向相反、作用在一条直线上。

第三定律的地位:

牛顿运动定律是全部经典力学的理论基础,第一、第二定律研究的是单个质点,只有第三定律是研究两个质点的相互作用关系。因此,它扩大了第二定律的运用范围,为解决质点组动力学问题奠定了基础。有了第三定律,才有可能把握物理系统整体的运动规律。

适用范围:

牛顿第三定律在经典物理学的范围内是正确的。但不能把它推广到相对论中去。由相对论看,若把一个物体受到作用和另一物体受到作用看成两个事件,这两个事件的同时性是与参照系的选择有关的。在一惯性系同时的事件,在另一惯性系中看就不一定是同时的了。从另一方面,按近代场论观点,一切作用皆由场来传递,且传递速度不能超光速,这样也自然会冲击作用力的同时性。

第一定律提供了牛顿定律运用的框架——惯性系,并且回答了物体不受力时的运动规律;第二定律告诉人们物体受力时的运动情况;第三定律回答了物体和外界如何相互作用。这样牛顿三定律就构成了一个逻辑上严谨的科学体系,再加上万有引力定律,进一步将地上现象与天上现象统一起来,形成了人类第一幅宇宙理性画卷。

4.2.2.3 决定论

牛顿的力学取得了巨大的成功,比如预见并找到了海王星。巨大的成功产生巨大的影响,巨大的影响使牛顿的力学远远超越了力学范围进入了更广泛的领域,成为一种思想方法。只要我们知道了物体运动的初始状态及边界条件,由牛顿定律:

$$F = ma = m\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = m\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

我们即可单值地确定物体在任何时刻的状态。

这种方法,原则上对任何一个质点都成立。而一般说来真实物都可看成由质点组成。接着法国科学家拉普拉斯相信:“智慧,如果能在某一瞬间知道鼓动着自然的一切力量,知道大自然所有组成部分的相对位置;再者如果它是如此浩瀚,足以分析这些材料,并能把上至庞大的天体,下至微小的原子的所有运动,统统包括在一个公式中。那么,对于它来说,就再也没有什么是不可靠的了。在它的面前,无论是过去或是将来,一切都将会昭然若揭。”(转引自赵红州,《大科学观》,人民出版社,1988年,14) 这就是说,如果我们,一旦找到宇宙的一切初始条件和边界条件,由牛顿第二定律,我们就会一劳永逸地提示出宇宙之间万事万物的规律,这就是历史上的拉普拉斯决定论。它的动人之处令世代许多科学家至少在原则上神往。因此对科学界的影响较大,许多大师的科学思想中都有它的痕迹。若真实现决定论,拉普拉斯已看到要先解决两个问题:

① 知道万物的初始条件及边界条件;

② 从数学能力上,应能分析处理这些数据。

而事实上,这两点哪个也无法绝对实现。因此决定论是个形而上学的理想。

4.2.2.4 原子论、分子运动论与原子模型

古希腊及罗马初期,人们就建立并完善了古原子论。那时人们认为原子是组成宇宙万物的最小基元。

1638年哲学家兼科学家伽桑狄开始重新发掘并宣传古代原子论思想。他的著作引起了人们的注视,不少科学家接受了原子论思想。如1661年,波义耳在《可疑的化学家》一书中写道:“宇宙中由物质组成的各种物体的最原始物质,实际上是可以分成大小不同而形状千差万别的微小粒子,这种想法并不荒谬。”(转引自申先甲等,《物理学史简编》,山东教育出版社,1985,490) 1678年胡克提出空气是由快速运动的坚硬粒子组成的,它们对四壁的频繁碰撞,形成空气对四壁的压力。牛顿也是原子论者,他甚至将此思想应用到光学领域形成了光的微粒说。1738年瑞士的D·伯努利在《流体动力学》一书中,利用微粒说,解释了波义耳定律。他认为,气体的压强只不过是各个分子与器壁碰撞的结果;如果气体的密度增加到原来的2倍,压强就会增加2倍,他甚至考虑到了分子本身大小对波义耳定律形式的影响。这里提到了分子,注意在物理上的分子并非仅限于化学上的分子,而可统指微观粒子。

18世纪中叶以后,关于热的本质的热质说逐渐占统治地位,在几乎长达一个世纪的时期内,分子运动论变得无足轻重了。

进人19世纪,分子概念在化学领域显出了生命力。

英国的道尔顿通过对气体的研究,得到了分压定律(1803 年)、倍比定律(1804 年),并逐渐形成新的原子论。道尔顿的学说得到了盖·吕萨克的支持。盖·吕萨克还发现了一个现象与以他的名字命名的气体反应定律相矛盾。该定律认为:在相同温度与压强下,相同体积的不同气体中含有相同数目的原子。而他发现一个体积的氢与一个体积的氯相化合却生成 2 个体积的氯化氢。意大利阿佛加德罗(A·Avogadro,1776—1856 年)以盖·吕萨克实验为基础,引入了"分子"概念,并将它与原子相区别。他认为原子是参加化学反应的最小微粒;单质的分子是由相同元素的原子组成的,化合物的分子是由不同元素的原子组成。阿佛加德罗有著名的以他名字命名的定律:在相同温度和压强下,相同体积的任何气体分子数相同。以此他解决了盖·吕萨克的疑难。

阿佛伽德罗去世 10 余年后,门捷列夫(1834—1907 年)于 1869 提出了元素周期律。

在物理学方面,热质说越来越难自圆其说,因此到 19 世纪 40 年代左右,大多数物理学家都转向了热动说。

分子运动论最终成为定量的系统理论,主要是由于克劳修斯、麦克斯韦和玻尔兹曼的工作。

克劳修斯以分子动理论为前提,用统计方法成功地推导出了气体压强公式:

$$P=\frac{1}{3}nmu^2$$

他还建立了理想气体分子运动模型:

分子可以当作数学上的质点来处理,分子间碰撞时间比起两次碰撞之间的间隔来说是无限小量;不碰撞时分子间力的作用是无限小的。

克劳修斯还建立了平均自由程等概念,并借助它们解释了气体实际扩散问题。

麦克斯韦成功地解决了气体分子速度分布问题。

$$\mathrm{d}W=\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2}\cdot e^{\frac{-mv^2}{2kT}}\cdot \mathrm{d}v_x\mathrm{d}v_y\mathrm{d}v_z$$

奥地利物理学家玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann,1844—1906 年)提出了等几率原理(在整个孤立系处于统计平衡时,系统所有的微观态出现的几率是相等的。)这是平衡态物理学的基础,并在此基础上给出了玻尔兹曼统计分布律:

$$N_1=\frac{N}{z}\cdot e^{-\beta\varepsilon_i}G_i,\ (i=1,2\cdots)$$

借助麦克斯韦、玻尔兹曼分布律,用统计的方法定量地研究平衡态热力学成为现实。

1827 年布朗运动被发现,1905 年爱因斯坦以分子运动论为基础,给予了很好的理论解释。布朗运动的存在间接证实了分子的存在。

可以看出,早期的原子、分子是比较含糊的。阿佛加德罗之后,区分比较严格了。分子由原子构成,但物体可由分子构成也可由原子构成。因此应用中同时有原子运动论与分子运动论。物理上统称分子运动论。

分子动理论基本内容概括如下:

① 物体由大量不连续粒子——分子(原子)组成;

② 粒子之间存在吸引与排斥作用;

③ 粒子处于永不停息的无规则热运动之中。

美国物理学家费恩曼说过："假如在一次浩劫中所有的科学知识都被摧毁，只剩下一句话留给后代，什么语句用最少的词包含最多的信息？我相信，这就是原子论，即万物由原子（微小粒子）组成，它们永恒地运动着，并在一定距离内互相吸引，而被挤压在一起则互相排斥。在这一句话里包含了有关这世界巨大数量的信息。"可见在物理学家思想中，原子论是现代科学的基础。

关于原子的认识还有曲折的过程。

1899 年汤姆逊发现了电子，打破了千百年来原子是组成宇宙万物不可再分的最小基元的观念。随后汤姆逊提出了原子的西瓜模型：

④ 原子中带正电部分是一个原子那么大的、具有弹性的、冻胶状的球，正电荷均匀分布而电子嵌在其中。电子的负电荷与原子的正电荷相抵，原子整个呈中性；

⑤ 电子在其平衡位置作简谐振动，由此向外辐射电磁能，对外辐射频率等于电子振动频率。

1908 年盖革-马斯顿通过 α 粒子散射实验发现有八千分之一的大角度散射。而依据汤姆逊模型作理论分析得到大于 90 度的仅约为 10^{-3500}。因此，卢瑟福说："这是我一生中从未有过的难以置信的事件，它的难以置信就像一枚 15 英寸的炮弹打在一张纸上又被反射回来而打在身上一样。"

经过分析研究卢瑟福建立了原子有核模型：原子由带正电的原子核和带负电的电子构成，原子核的体积比原子体积小得多，原子的绝大部分质量都集中在原子核内（后来知道原子核由中子、质子组成），电子围绕原子核运转。该模型因类似于太阳系而又称为行星模型。

卢瑟福的模型仍有无法克服的矛盾：

⑥ 电子加速运动将不断辐射能量，因此最终原子应该不稳定，但事实不是这样；

⑦ 无法解释原子的光谱，原子光谱已知是不连续的，而电子能量变化是连续的，这是个问题。为解决卢瑟福原子有核模型面对的困难，玻尔 1913 年提出了新的原子模型；

⑧ 原子核外电子在特定的一些轨道——定态上运动时，原子是稳定的，不辐射也不吸收能量；

⑨ 电子在不同定态间跃迁时辐射或吸收能量。吸收或放出的光子能量 $h\nu$ 与两定态能量之关系为：$h\nu = |E_n - E_m|$。

电子的轨道不是任意的，电子可能的轨道角动量应是普朗克常数的整数倍。

玻尔的原子模型只与氢原子的实验资料较好地符合，对其他元素相差甚远。量子力学是处理微观现象的可靠理论，在该理论中，核外电子没有轨道概念，动量与位置只能精确测量其一而不能兼得。人们能给出的只是电子在不同位置出现的几率$|\varphi(r,t)|^2$。

电子、质子、中子以及它们之间相互作用的场，五花八门的物质形态在这里得到了统一。从本质上讲，不同物态，不同物质决定于组成物质的电子、质子、中子的数量及其排列方式。

4.2.5.5 能量守恒定律

见物理学基本概念中之“能量”。

4.2.2.6 熵增加原理

见物理学基本概念中之“熵”

需要说明的是能量守恒定律(热力学第一定律)和熵增加原理(热力学第二定律)各司其职,分别履行各自的使命。能量守恒定律说明与自然界存在形形色色运动相应,有多种多样能量,不同运动形式相互转化过程中,能量相互转化,但总量不变,实现运动不灭与物质不灭。自然界发生的一切过程均满足能量守恒定律,但是,满足能量守恒定律的过程不一定全能发生。比如有 5 焦耳热量自发从冰中转移到 2℃ 的水中,而这过程中能量没有消失也没有产生,实实在在守恒! 原因是自然界发生的物理过程物理现象都具有方向性。人们不能靠能量守恒定律去确定过程进行的方向。关于过程方向的定律是热力学第二定律或熵增加原理:自发物理过程只能是熵不减少的过程,可逆过程熵不变,不可逆过程熵增加。

4.2.2.7 相对性原理

相对性原理有两个:

(1) 伽利略相对性原理:物理体系的状态据以变化的力学定律,同描述这些状态变化时所参照的坐标究竟是用两个在互相匀速运动着的坐标系中的哪一个并无关系;

(2) 爱因斯坦相对性原理:物理体系的状态据以变化的定律,同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是用两个在互相匀速移动着的坐标系中的哪一个并无关系。

可见爱因斯坦拓展了伽利略的相对性原理。

本质上说所谓相对性原理无非是说,在一切惯性系(没有加速度为参照系),物理规律都是相同的,没有哪个惯性系会更优越一些。

自然界物体的运动是绝对的,而对运动的描写却只能是相对的。相对不同的参照系观察结果一般是不同的,因此当研究某一物体的运动时,必须明确指出这种运动是相对于哪一个参照系来说的。

爱因斯坦在相对性原理和光速不变原理基础上提出了狭义相对论,形成了新的宇宙观。在狭义相对论中,原来牛顿力学里绝对的物理量如物体长度、质量、事件的同时、时间间隔的长短,都变成了相对量,都具有了明确的相对性:

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}};\quad l=l_0\sqrt{1-v^2/c^2};\quad \Delta t=\frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

4.2.2.8 波粒二象性

直觉和整体由部分构成的观念都有利于微观客体粒子说。微观客体粒子说的领袖就是牛顿,后来还有爱因斯坦、德布罗意等人。微观客体波动说主要始于光的波动说,是与牛顿同时代的惠更斯提出的,到托玛斯·杨完成光的双缝干涉实验,该学说已有了成立的可靠证据。微粒说则到了 20 世纪,爱因斯坦用光子说成功解释光电效应实验,以及康普顿效应等事实才确立其可靠根据。依照德布罗义的想法,所有微观客体无论光子还是电子等等都既具有波动性又具有粒子性。他的思想后来在实验上也得到了支持,1927 年戴维逊和革末最先用实验证实了电子的波动性。在量子力学中微粒的二象性已成为基本的

前提。

4.2.2.9 概率描述

在量子力学中,用波函数描述微观系统状态。波函数一般是满足一定条件的复变函数。1926年玻恩提出一种思想:波函数模的平方表示作为波源的微观粒子在某一位置或具有某一动量的几率(概率)。这就是说波函数本身并无物理意义,有意义的是其模的平方。因此德布罗义物质波实际就是几率波。这样,玻恩成功地保留了微观客体的粒子性,并创造性地诠释了其波动性。玻恩曾言简意赅地概括过量子力学基本原理:"粒子运动遵循概率定律,而概率本身按照因果律传播。"(关洪:《量子力学基础》,高教出版社,1999年,23页)

4.2.2.10 互补原理

为解释波粒如何统一为一体,1927年玻尔提出了互补原理(或互补关系):自然现象服从严密因果律及要用空间时间描写客体的一切现象这两大经典要求不可能同时满足。这两者代表原子现象的互相排斥又互相补充的两方面。

1929年玻尔又给出了互补原理的广义表述:"同一客体的一个完备的阐明可能需要根本不同的各种观点,这些观点抗拒一个唯一的描述。"(《原子论和自然的描述》,1934剑桥版,96页) 玻尔互补原理认为互补性是描写自然界一切企图的中心特色。

互补原理是哥本哈根学派的基本哲学观点,号称"哥本哈根精神"。玻尔的下面一句话从另一侧面说明了这一原理:"如果你有一个正确的陈述,那么一个正确陈述的否定陈述,当然是一个不正确的陈述,一个错误的陈述。但当你有一个深邃真理,那么一个深邃真理的否命题可以仍是一个深邃的真理。"(海森堡著,李让、贤见译:理论,批判和哲学,现代物理知识,1994年6期,36页)

4.2.2.11 宇宙大爆炸学说

1948年伽莫夫发展了比利时勒梅特的"宇宙蛋"大爆炸理论,与艾尔弗及赫尔曼一起提出了宇宙大爆炸学说,又称宇宙标准模型理论。该理论是现代宇宙学的开端。

该学说认为,极早期的宇宙温度密度极高,充满着各种基本粒子和辐射,它们之间强烈作用,宇宙迅速膨胀。各种物质粒子和辐射场均处于热平衡状态且宇宙初期强子数略多于反强子数。该理论还更详细预言,宇宙最早创生期仅有10^{-35}s,这一时期宇宙物质以夸克、胶子、正负电子对、光子等粒子状态呈现;进入宇宙早期时,宇宙年龄约为100 s。这一时期宇宙膨胀,导致温度下降,高速运动的夸克、胶子生成质子、中子等基本粒子,并形成原子核,进而与电子结合形成各种轻元素的原子。当宇宙到达10万年以后,宇宙进入近期,由于引力,使宇宙由均匀进入有结构状态,形成各种尺度的星体及星系。现在宇宙年龄约为200亿年。该学说预言的存在5 K宇宙背景辐射。1965年美国贝尔实验室的彭扎斯和威尔逊发现,在人类观测所及的宇宙空间范围内,存在着一个统一的背景辐射,其温度为3.5 K。后来许多射电天文学家也观测到了这种现象,经过仔细测定,认为辐射温度约为2.7 K,近似通称3K辐射。3 K背景辐射的存在是宇宙大爆炸学说成立的最强有力的证据之一。

4.2.3 物理学研究与处理问题的一般方法

4.2.3.1 物理学研究的一般方法

近代物理科学方法主要由伽利略、牛顿奠定。

伽利略提出了研究自然科学的科学方法，由生动的直观到抽象思维，又由抽象思维到实践的方法，他把重点放到了实验方面，他对实验的强调使物理学发生了革命性的变化。

一般说来，古代希腊人还不知道这种方法，只是在希腊晚期从阿基米德始，才有了实验的迹象。牛顿确立的研究物理现象的科学方法即物理思维：在实验基础上确定最一般的规律——原理或原则，通过推理从中得出个别的定律或定理，再通过实验来验证，如果实验与这些结论相符，就证明这些基本定理正确。

牛顿在研究工作中常将力学中物体的运动规律归结为单纯的数学问题，即把任何物理现象的答案都归结为去解满足一定附加条 1 件的微分方程。牛顿实际上在力学领域发现并应用了物理学的一个基本方法。常说电学和力学是经典物理的两个相互独立的基础，但是从数学提法这方面看来却是一样的。以后的相对论量子力学等虽然与经典物理比较有更大的发展，但在解决问题时，也超越不出解满足一定条件的数学方程或方程组这一基本的手段。所以说牛顿的研究方法对物理学本身以及全部自然科学都是一个巨大的贡献。

科学方法，在一定意义上讲主要是科学思维方法。因此，人类思维的一般方法如观察、实验、分析、综合、归纳、演绎、抽象、概括、比较、分类、假说等等在物理学研究中都不可或缺，物理学不拒绝智慧，而且有的方法，如实验方法恰因为在物理上取得了巨大成功，才显示了其重要性。

现代科学方法更注重多种方法的辩证统一(如归纳与演绎、理论与实践、逻辑与直觉等)，爱因斯坦的大量论述是这种科学方法的突出代表。

20 世纪中叶以后，科学方法主体体现出了与过去以分析为主相反的以综合为主的特点，将不同学科的方法综合运用于同一领域以解决越来越带有更大综合性的实际问题。因此出现了许多交叉学科如物理化学等。纵观物理学领域，其研究方法的特点是挑战极限，开拓边缘，在交叉处找突破口，物理学对统一性的追求达到空前绝后的地步，如光子与实物粒子的统一，如电与磁等相互作用的统一等等。

4.2.3.2 物理方法论原理

对物理方法的研究还产生了高于一般具体方法而介于哲学原理与物理理论之间的物理方法论原理。主要有：

(1) 简单性原理：描述客观事实的理论和所包含的彼此独立的假设或公设要为求最少。这一点自古以来尤其为西方公理化科学体系所追求，马赫称之为“思维经济原则”；

(2) 统一性原理：包括物理本质与数学形式的统一以及科学或一学科内部各分支领域间的和谐统一；

(3) 数学化原理：物理规律物理理论可以用适当的数学工具予以体现；

(4) 守恒原理：某些物理量的客观性决定其在一定的条件下必是守恒的；

(5) 对称性原理:原因中的对称性必反映在全部可能的结果的集合中,本质上与守恒原理是相互关联的,现在一般认为一个对称性决定一条守恒定律;

(6) 对应原理:物理学新理论的概念(物理量)、规律在此前的经典理论中有其对应者,在极限处相互过渡因此对应;

(7) 互补原理:在描述客观对象自然现象时,互斥又互补的概念相互结合运用,才能形成完备描述;

(8) 可观察性原理:理论观念要有经验根据,理论要与观察(直接或间接)相符;

(9) 基元性原理:每门科学抓住的都是物质链条上的一个特定的“波段”;

(10) 相对性原理:任何普遍有效的物理规律,必须对于坐标变换保持不变;

(11) 真和美的统一原则:物理理论不仅要接受实践的检验,同时也要接受美学标准的检验。

4.2.3.3 物理学处理问题的一些具体方法

方法论原理与一般方法相联系,如数学化原理的实际应用就是数学方法。而具体方法的选择往往是由研究对象的特殊性决定的。下面介绍物理学一些特殊的方法;

(1) 隔离物体法:把研究对象从周围环境中隔离出来,并从本质上把周围环境等效成对研究对象的一些作用。这是物理学最基本的思考问题解决问题的方法之一;

(2) 物理实验方法:在某一特定的物理环境下对研究对象进行定量测量。实验物理方法常用手段之一是对被研究的对象的物理环境进行有效控制。实验物理方法的核心是测量技术,必须有效解决微弱信号的探测问题以及尽量减少误差。观察、分析、综合等往往是实验方法的必需程序;

(3) 理论物理方法:在实验结果之上,选择适当的物理参量描述研究对象,总结出物理规律,并以相应的物理参量建立定律的数学表述。最后,在特殊条件下,用合适的数学方法求解所得的数学方程,得出与实验结果吻合的新结果,即初步印证定律的可靠性,否则要进一步对其修正。解决具体问题,仅仅有用微分方程表达的物理定律是不够的,还必须清楚研究系统与外界的关系,这被称为边界条件;对于随时间变化的问题还需知道初始条件。因此,简单断定物理学不具备所谓东方整体论观点是欠妥的。物理学并没有也不可能完全地将研究的对象彻底孤立起来,边界条件就是联系被研究对象与外界的纽带;

(4) 选参照系及参照系变换法:有的问题,在不同参照系中解决难度相差很大。比如相对论中粒子的碰撞和反映问题,往往在实验室参照系进行分析计算比较复杂,但如在质心参照系中处理则比较简单,然后可再变换回实验室参照系,得出所求结果。因此适当选择参照系成为简捷处理问题的重要手段;

(5) 近似方法:要突出主要因素,否则有些问题无法解答,而合理忽略次要因素,就是要有效应用近似方法。估算是近似方法的重要组成部分,而估算,需要广博的知识,需记住一些有关的常量,并且有灵活运用知识的能力。

近似方法在处理实际问题中有相当重要的作用。

“怎样建立起一个形象化的物理图像,很重要的是必须学会估计每一个物理量的数量级的大小。客观事物是很复杂的,其中包含着许多物理因素,研究者对于所研究的对象首

先就要找到一整套办法处理各物理量因素，——用哲学的术语来说就是事物矛盾的诸侧面，——粗略的定性的或未定量的估计，确定各物理量的大小及其相互影响，初步判断哪些物理量之间的联系密切，哪些没什么联系，哪些影响较大、较重要，哪些是较次要或微不足道的。这种定性或未定量的估计不必太准确，上下相差一两个数量级都可以，所以又叫数量级的估计的方法。在理论物理整个研究过程中，从提出问题到解决问题，都需要用到这种估计数量级的方法。"（引自何祚庥：《谈谈科学方法论问题，科学方法论研究》，中国自然辩证法研究会筹委会主编，科学普及出版社，1983年）

物理学上还有类比方法、特解方法、等效方法、量纲分析法等等处理具体问题过程中形成的相对而言比较专业的有效方法，物理系学生可以在专业学习过程中熟悉，这里就不一一介绍。

从某种意义上讲，物理学本身就是一套探索未知获取知识并进一步探索未知的一套科学方法。正如物理学家费恩曼所说："科学是一种方法，他教导人们：一些事物是怎么被了解的，什么事情是已知的，现在了解到什么程度（因为没有事情是绝对已知的），如何对待疑问和不确定性，证据服从什么法则，如何去思考事物，做出判断，如何区别真伪和表面现象。"（转引赵凯华、罗蔚茵：《新概念物理教程·力学》，高等教育出版社，1995年，5）　一言以蔽之，物理学是人们对自然界的基本的深入的认识，也是人们探索自然利用自然必须遵守的方法，在一定意义上可以说物理学不拒绝任何智慧，直觉与想象、理性与逻辑在这里都有用武之地，对真与美的追求在这里殊途同归，并终将达到善的结合。

4.3　物理美学探源

许多近代、当代的大物理学家，都曾从各个角度强烈表述他们深深感受到的物理的美。因此物理美也就成了许多人思考的一个问题。以下是本书作者多年前的思考结果，希望能为想了解这一话题的人有所帮助，更希望或多或少能帮助仍在思索这一话题的人开阔一点思路。

任何一个对物理学有较深层次把握的人都能实实在在感受到物理美的存在，并为之陶醉。物理美不仅能给予感受到它的人以愉悦的情感，物理学家的工作表明，有时候，如果沿本能提供的通向美的途径还会获得深刻的真理。狄拉克受惠于此而发现了反物质的存在。究其原因则如黑格尔所说："理解力总是困在有限的片面的不真实的事物里。美本身却是无限的自由的。"（黑格尔：转引自《西方美学家论美和美感》，商务印书馆，1980年）美学的洞察力有时远远超越现实。也许正是由于人们认识到了这一点，现在，无论在著名物理学家的著作中，还是在中学物理教法教材中都不乏对物理美的研究。但纵横观来，往往不中肯綮。

追求真是物理学的最高原则。这决定了物理学与自然在一定意义上的同构或物理学与自然的全息相关。"如果大自然不美，它就不值得了解……"（彭加勒：《科学的价值》，光明日报出版社 1988 年）。从来源看物理美是自然美在认识领域的一种折射，是自然美在认识领域的一种信息痕。古人相信，整个宇宙天地就是一种和谐，"夫天地之气，不失其序

……”(《国语·周语》)。这可以说是物理美在古代先哲思想中的萌芽。物理美在近、现代物理学家的成果中展示得更加充分。爱因斯坦的相对论,被众多的物理学家誉为优雅绝美的伟大艺术品。

但物理美和自然美毕竟存在于不同层次,二者之间存在较明显的界限。自然美一般说来是直观而有目共睹的。但物理美却只有少数人方可领略,不同人的体会亦不相同。不知者不如知之者,“知之者不如好之者,好之者不如乐之者”。在某种意义上讲,任何能令人感兴趣的值得咀嚼欣赏的东西都蕴含着美。但人们对物理学尤其理论物理学的兴趣爱好的产生需要一定过程。只有承受住困难的磨炼,经历一定的认知同化向一定的情感同化的过渡,兴趣才能产生,美感才会出现。有些人由于种种影响在未系统学物理学之前即可能对物理学有强烈的兴趣。但由于种种困难的阻碍有一些人在学习过程中会使这些兴趣烟消云散,失去真正体会物理美的机会。

物理美与自然美的区别还体现在美的物理理论对呈现在人们眼前的自然美的形成的解释常常是枯燥乏味的。如绚丽的彩虹能引起所有见到的人赞美,但物理学对彩虹形成的解释是使感性理性化,直观抽象化的过程。通过解释消除了感受者主观性的丰富的感受,而代之以对所有感受者都同一的知识使得本来悦目的效果消失殆尽。

物理美与艺术美亦不相同。比如艺术美可以是模糊的朦胧的,如纸上的云海松涛和朦胧诗。这更能给主体提供更广阔的自由想象空间。但物理则力求明确。完美的科学理论无不由清晰的定义和毫不含糊的联系组成。亚里士多德早就洞察到了这一点,他说:“……一个非常小的东西不能美,因为我们的观察处于不可感知的时间内,以致模糊不清;一个非常大的活东西……也不能美,因为不能一览而尽看不出它的整一性……”(亚里士多德:转引自《西方美学家论美和美感》,商务印书馆,1980年)结构虽不受比例的限制,但知觉却受比例的限制。模糊即知觉的受限,无知即认识的盲区。物理学研究的对象亦有无秩序而处于混乱状态的,如气体分子系统的内部微观运动。但物理学关于这类混乱对象的理论却是清晰明确而不含糊的。

在美学史上,“上帝”曾占有重要的地位。中世纪的奥古斯丁表述过美在上帝的思想。(《西方美学家论美和美感》,商务印书馆,1980年)

但唯物哲学家费尔巴哈认为,宗教关于上帝的观念源于“人的依赖感”。在自然面前人类意识到了自身尘埃般的渺小以及羔羊般的软弱,于是创造了具有无穷力量能拯救和惩罚一切而人可以依赖的上帝。我们不能不承认,在一定意义上说,人类塑造上帝,研究自然,不是为了上帝和自然而是为了人类自己。身处繁纷复杂的境地,在没有掌握自然规律即对自然未能有清晰认识的时刻,人类将不知所以,将陷入迷惑。然而宗教的上帝终究是世界在人们头脑中虚幻的颠倒的反映,在漫长的人类实践中,上帝能够给予人们的只能是麻醉和失望。上帝不足为依。真正能拯救人类的是科学。在历史长河的奔流不息中,神秘的星体在深邃的太空傲慢地运行了一个又一个世纪。古时候的人们曾经将它们看成神的化身。牛顿发现了万有引力定律,从而揭开了这层神秘的面纱:星体与地上物体一样遵循万有引力作用,我们能从它们的现在预言它们的未来,不仅如此,人们还借助万有引力定律预言并证实了海王星的存在。

于是，一个又一个的成功使科学成了拯救人类的诺亚方舟。而且随科学的进一步发展，终于科学以其自身的实力成了新的圣经新的上帝。近代现代科学的巨大成功对人们世界观的影响的巅峰期的标志该是：人们开始相信我们不仅能认识自然，而且能以人为中心去改造自然，并且丝毫不认为这是幻想。这在科学的童年期即有萌芽的表现，阿基米德就说过，给他一个支点，他能够挪动地球。最后的结局是，人们通过自己的精神与宇宙科学规律的融合从而使自己占据了本属于上帝的宇宙位置。作为科学发源地的西方知识界在近、现代科学发展的同时认识到了科学的副作用。保护自然保护环境的思潮向科学万能论发起了挑战。科学的确在不正确利用时有副作用。但象老子那样的自然主义者最终亦拯救不了人类。人的生存环境——地球本身即有有限的寿命，无论怎样保护它亦不能成为人类永恒的母体。要追求人类的永存，唯一利器还是科学。

科学的力量可以说一定程度上取决于物理学，从这个角度看，物理美亦在于它的真而适用，客观而有效力。正如苏格拉底早就下的断言："凡是我们用的东西，如果被认为是美的和善的，那就都是从同一观点——它们的功用去看的。"(苏格拉底 转引自《西方美学家论美和美感》商务印书馆出版 1980 年 5 月第 1 版)爱因斯坦称赞玻尔的电子壳层模型为"思想领域中最高的音乐神韵。"(姚文忠,《物理教学及其心理学研究》,杭州大学出版社,1991 年)从直观形象上理解，玻尔的原子模型无非是认为电子在一些以原子核为球心的特定同心球上绕核旋转。简化到二维平面上同心球即成为同心圆。用简单的方法即可画出任意半径的同心圆。但我们对这些同心圆不会像对玻尔的壳层模型那样惊讶，更不会认为它们很美有神韵。玻尔的模型之美在于它实用，能化模糊杂乱为清晰，使人们摆脱纷繁的头绪和心理的茫然。

在信徒的心目中上帝的观念即最完善的观念。上帝的本体论证明本身虽然是一种"空洞的同语反复"(田崇勤等,《简明西方哲学手册》,南京大学出版社,1989 年)，却说明了在相信这一证明的人看来，上帝最根本的内涵就是完善。正因为最完善所以才最有力量。在理解物理之美物理之崇高时，也不能忽视这一道理。人有追求完善的天性。画一圆圈，但留一小缺口。过一会再看看，一定感到那缺口是个缺憾，只有补上才安心。由于这种心理的作用，人们不知不觉中就会被追求完善的张力所左右。人们建构理论时亦受这种心理的支配。既成的理论一定是完善的，至少是比较完善的或现阶段所能达到的最高的完善。否则人的天性就要设法改进它直到完善为止。完善的内涵包罗万象，我们讲物理学理论的完善指其一方面自洽和谐相辅相成无冲突；另一方面指其完整自足无缺憾且具有普适性。人们长期探索创立的完善理论为人们在一定时空范围对物理学的依赖心理提供了可靠的保证。没有绝对的完善，完善总是属于特定的时空。在这一局限之外，完善的理论就会暴露出不完善。这时人们在追求完善心理的支配下自然而然会去"炼石补天"，从而达到新一层次的再完善。因此科学理论的发展是无止境的，物理学对美的逼近也没有止境。

美学家告诉人们，审美经验的一个基本事实是"审美快感来自于对某种介于乏味和杂乱之间的图案的观赏。单调的图案难于吸引人的注意力，过于复杂的图案则会使人们的知觉系统负荷过重而停止对它进行观赏。"([英]E·H·贡布里希,《秩序感》中译本,浙江摄

影出版社,1987年) 但这一审美经验在物理学审美领域似乎不尽适用。物理学审美重要经验是:一种最优美的理论总是有一种最简单的形式。马赫的思维经济原则,阿芬那留斯的费力最小原则都突出了理论的表述要简单这一要求。这是从亚里士多德到哥白尼,从开普勒到牛顿直至当代物理学家一直醉心追求的。爱因斯坦总结说:"从希腊哲学家到现代物理学的整个科学史中,不断有人力图把表面上极为复杂的自然现象归结为几个简单的基本观念和关系。"(爱因斯坦等:《物理学的进化》,上海译文出版社,1962,39) 人的这种寻求简单的心理特性与物理世界的运动规律是一致的。费马原理、哈密顿原理最小作用原理都揭示了自然物的运动在条件允许的情况下必然是走捷径的。理论越简单以至于不容再进行一点简化则在与繁杂的自然的对照中越能体现出理论的美。"正是混乱与秩序之间的对照唤醒了我们的知觉。"([英]E·H·贡布里希:《秩序感》中译本,浙江摄影出版社,1987年) 自然界是极为复杂的,如果将所有现象只是进行一一罗列一昧扩充我们的经验,则这种知识再多也不能称为科学。自然界还是无限的,随之,理论的发展是无限的:静态到动态,平衡态到非平衡,封闭到开放,线性到非线性,有序到混沌……知识在爆炸,而且永远没有最终的结局。如果不力求简明准确,就会更加使人们知觉系统的负荷过重。追求理论的逻辑简单是所有物理学家的共同目标,如果他们认为有一点还不妥善不够简洁,他们就会觉得还有事可做。爱因斯坦说自己是一个"到数学的简单性中去寻找真理的唯一可靠源泉的人。"(《爱因斯坦文集》第一卷第380页,商务印书馆,1976年) 他把这种对美的追求产生的激情叫"宇宙宗教感情"。只要达到简单而不失真的极限,虽然亦包罗万象很难掌握,但这不是一一罗列的结果而是高度概括加工的结果,并终能被人们所掌握。与直观的自然美相比物理美较不易感受,但与繁杂的自然现象相比物理美极为明显,具有很强的优势。

对称,有序和守恒等是物理美的重要表现形式。本质上不能将这些表现归于直观的形象美,但恰恰相反有人强调的正是这一点,如狄拉克认为"使一个方程具有美感,比使它去符合实验更重要。"(转引自杨振宁:《美和理论物理学》,自然辩证法通讯,1988,5) 笔者认为,这些物理美感表现方式都是简单美的特例。

简单易掌握自然省力。因而相对而言能使学习者保持更充沛的精力。我们不可轻视席勒的那句真谛:"审美活动是一种表现过剩精力的游戏。"(席勒:转引自《西方美学家论美和美感》,商务印书馆出版,1980,181) 不仅如此,精力亦是审美的资本,美属于旺盛的生命力。疲惫的人对最美的事物亦会无动于衷。由于追求理论美(简单)而使学习者节省较多的精力;因为精力过剩进而追求理论的美(简单)。这种彼此的正反馈是促使人乐此不疲的缘由,决定了人们有不断的探索热情。

但是,美学观念对物理学研究工作的指导亦不是无限的。因为大自然本身亦不是尽善尽美的。过分依赖美学会滑向错误的另一极端。洛仑兹·奥锶这样批评过牛顿的天体力学:"你们不应该用冲冲撞撞和敲敲打打而应该用给以生气来创造世界。如果行星是死的,那么它不为太阳所吸引。"([德]W.海森堡:《严密自然科学基础近年来的变化》,上海译文出版社,1977,31) 这种追求可以说很美很生动,但现实仍然选择肯定了牛顿。物理学发展到今天,已取得了一个又一个辉煌的成就。现在人们已将视力集中于至大无外的

无限和至小无内的无限。“小至不可知觉,大至不可分辨,都不能为美。”(克罗齐《美学原理》,外国文学出版社,1983,118) 我们不能说目前物理学的研究的两极已至不可知觉不可分辨的程度。但是物理学对这两极在所知不多甚至还不知时就尝试给出系统的理论确已显出那么力不从心或过于玄妙。这就是过分的急躁的追求完善的寻美心理指导下达到的忘乎所以的近乎丑的结局。我们面对的永远是有限。我们所说的无限是想象出来的,而即使无限是真实的,我们对它的认识将永远是不充分的不完全的。否则也就称不上什么无限了。因此对它的探寻的理由也将永远是不充分的。应警惕被爱美之心引入窘迫丑陋境地的可能。人类有很多事要做。

4.4　实验对理论物理学家的重要性

认识不到实验对物理学的重要性以及物理学对实验研究方法的依赖性,就是没有把握物理学进而近代科学的基本精神。本话题就是要从一个特殊视角揭示这一道理。

物理学是实验科学,但有些大物理学家自己并不做实验。难道物理学的发展可以不依靠实验了,实验对物理学来说不再重要了吗? 本节将回答这一问题。

从历史上看,早期的物理学实验与理论是合而为一的,每一个物理学家既从事实验研究,也进行理论探索。如伽利略和牛顿。但随着物理学的进一步发展,物理学家也出现了分工,有的专门从事实验工作,有的专门从事理论研究。到了20世纪,费米成为仅有的在理论和实验方面都有非凡才能并获得杰出成就的伟大物理学家。有人断言,能像这样既专于实验又长于理论者,“费米是最后一人。”[1]一个事实是,有些物理学家,如泡利、海森堡、杨振宁等在物理学界素以不擅长实验而著称,但并没妨碍他们对物理学做出巨大贡献成为物理学大师级人物。另外有些物理学家如爱因斯坦有的言论若不细加分析也会使人们对实验的重要作用产生怀疑。

4.4.1　爱因斯坦等对实验看法的表述

爱因斯坦曾反复思索数学与实在的关系:“为什么数学比其他一切科学受到特殊的尊重,一个理由是它的命题是绝对可靠的和无可争辩的,……还有一个理由那就是数学给予精密自然科学以某种程度的可靠性,没有数学,这些科学是达不到这种可靠性的。”[2]于是他产生困惑:“数学既然是一种同经验无关的人类思维的产物,它怎么能够这样美妙地适合实在的客体呢? 那么,是不是不要经验而只靠思维,人类的理性就能够推测到实在事物的性质呢?”[2]经过分析他说:“……我们不得不倾向于下面这个更一般的观点,这是彭加勒观点的特征。几何(G)并不断言实在事物的性状,而只有几何加上全部物理定律(P)才能做到这点。用符号来表示,我们可以说:只有(G)+(P)的和才能得到实验的验证。因此,(G)可以任意选取,(P)的某些部分,也可以任意选取;所有这些定律都是约定。”[2]“我认为,从永恒的观点来看彭加勒是正确的。”[2]更一般地,爱因斯坦认为,作为物理学理论根本部分的基本概念和基本原理都“不是理性所能触动的”,而都是“人类理智的自由发明”,“具有纯粹虚构的特征。”[3]就概念而言,“一切概念,甚至那些最接近经验的概念,从逻辑观点,完全像因果性概念一样,都是一些自由选择的约定,……”[3]进一步“概念体

系连同那些构成概念体系结构的句法规则都是人的创造物。”[3]“事实上，我相信，甚至可以断言：在我们的思维和我们的语言表述中所出现的各种概念，从逻辑上来看，都是思维的自由创造，它们不能从感觉经验中归纳地得到。”[3]物理学基础可任意地选取约定，具有虚构的特征以及都是思维的自由创造等等提法，显然与以物理学为代表的自然科学追求自然界具有“真”的特征的客观规律的宗旨至少表面上有一定偏差。难道爱因斯坦的科学贡献真的就是在这些观点的指导下做出的吗？

4.4.2 对上述看法的深入分析

同爱因斯坦有过密切合作并称爱因斯坦是“世界是最好的人”[4]的英费尔德在札记中写到：“在科学上取得成就，但自以为是唯心主义者的科学家，在从事创造工作的时候，必定是实在论者。他的感官承认外部世界的真实性。然而，后来他创造出人为的哲学结构，这和他的创造工作毫无关系，和那种创造工作的精神格格不人。这样，他的科学工作和他的思想之间，就产生了危险的矛盾。…对于外部世界真实性的感受，在爱因斯坦身上是十分有力的。但它常常以某种全然相反的形式表示出来。当爱因斯坦讲起上帝的时候，他想到的总是自然规律的内在一致性和逻辑简单性。”[4]虽然不能说爱因斯坦是唯心主义者，但英费尔德的说法应该令我们满意，对我们理解诠释爱因斯坦有很大帮助。必须说明的是爱因斯坦的思想博大精深，在这其中，从积极的正面理解起来较为费解如上所引的提法所占比重轻于鸿毛。

非常有意思的是，爱因斯坦自己也说过：“如果你们想要从理论物理学家那里发现有关他们所用方法的任何东西，我劝你们就得严格遵守这样一条原则：不要听他们的言论而要注意他们的行动”[5]这话对他本身同样适用。那么在爱因斯坦的“行动”中实验究竟有哪些作用？

首先我们看到爱因斯坦并不是一个死嚼书本整天冥思苦想的书呆子。在苏黎士工大学习期间，他自己说：“我热情而又努力地在H·F·韦伯教授的物理实验室里工作。”还说到：“…我大部分时间却是在物理实验室里工作，迷恋于同经验直接接触。”[6]这样，他就不仅以通过学习书本上的知识的方式走进物理世界，同时以直觉的经验形象的方式溶人了物理世界，并且获得了高超的设计物理实验的能力。如他在与哥本哈根学派的论争中设计了多个为人熟知的实验。再如1915年，荷兰大学德哈斯教授到柏林拜访爱因斯坦，谈起安培于1822年提出的分子电流假说，一直未被直接的实验证实。爱因斯坦根据角动量守恒原理，当场在饭桌边设计了一个简单的磁棒回转实验。后来德哈斯一试竟告成功。这就是爱因斯坦-德哈斯效应。

另一方面，我们知道爱因斯坦在成为职业的物理学家前是伯尔尼瑞士专利局的一名职员，并工作有近7年之久。“在专利局，人们很赏识爱因斯坦的非凡才干。”对他的“敬佩增加，终于成为受器重的官员。”[7]在《自述片断》中爱因斯坦自己说：“…在我的最富于创造性活动的1902—1909这几年当中，我就不用为生活而操心了。即使完全不提这一点，明确规定技术专利局的工作，对我来说也是一种真正的幸福。它迫使你从事多方面的思考，它对物理的思索也有重大的激励作用。”[8]爱因斯坦不仅热忱从事专利局的工作并从中得到幸福，而且他自己也积极开始从事发明创造工作。如1908年他与哈比希特合作设

计了一种可测量出0.0005伏特电压的仪器，这种仪器1910年被命名为“爱因斯坦-哈比希特电位放大仪”。据统计在45～50岁期间他发表的专利文献数目就有19编之多。他的发明中与热泵的改进有关的居多，此外，他与人合作获得过光强度自标准照相机的专利以及助听器的专利，而他与西拉德(Leo Szilard)合作发明的用直线振荡代替旋转运动的电磁马达技术，已成为磁悬浮列车推进器的基础。这些发明工作除其自身的意义外，使爱因斯坦对物理学本身的理解，以及对物理世界的感知等方面，势必在大学热衷物理实验的基础上，跃上了一个新高度。

爱因斯坦科学思维的最大特点是最大限度地大胆相信自己的直觉。他说：“我相信直觉和灵感。”[9]少年、青年、老年，数学家、物理学家、化学家、生物学家、哲学家、社会学家、小说家、诗人、政治家，不同年龄、不同阅历的人对同一个物理世界问题的直觉会有很大差异。因为直觉总是受经验制约的。谈到在思考问题时意识中充溢着的形象和联想，他说：“词因为是书写下来的或说出来的，所以似乎在我的思维机制里不起什么作用。思维元素是作为物理实在的或多或少清晰的形象和符号而出现的，这些形象和符号似乎是意识任意地产生和结合的。”“对我来说，上述元素是视觉型的，也有一些是肌肉型的。”“视觉和动觉的在完全是词在起作用的这个阶段上，对我来说，它们纯粹是听觉的。”[9]在爱因斯坦看来，概念和理论不是经验材料在逻辑推理下的必然。“感性知觉是一切研究的出发点。”[10]直觉似乎能预见正在构造的理论的物理结论，当逻辑分析不能决断选择时，总是物理直觉将其推动，使它更接近实验检验。借助物理直觉，爱因斯坦猜想通向使理论获得物理内容的实验的最佳道路。而正是实验物理学的概念和形象的世界滋养了爱因斯坦的直觉。如果没有早年对实验的醉心，长期潜移默化、耳濡目染，以及在专利局工作的经历，很难想象爱因斯坦能借助一个个想象实验，由光子火箭而自由降落电梯…攀上一座座物理学顶峰。后期的爱因斯坦很大程度上放弃了对直觉的依赖。如他说：“我坚信，我们能够用纯粹数学的构造来发现概念以及把这些概念联系起来的定律。”[11]费曼对爱因斯坦这种对待物理学的看法非常不赞成，他对戴逊说，爱因斯坦的失败是由于他在后期不再从具体的物理图像思考问题，成了一个专门摆弄方程的人。戴逊说：“我得承认费曼说的是正确的。爱因斯坦早期的伟大发现都是以直接的物理直觉为基础，而他后期之所以失败，是因为他的统一场论都只是一些没有物理意义的方程组。”[11]可见，对一位理论物理学家而言，对他研究领域有足够多具体的形象的感性的认识和了解，从而使其直觉得以很好的培养是至关重要的成功保证之一。要达到这一要求，做实验无疑是一个并非唯一但却直接的很好的途径。例如，虽然在实验方面杨振宁与爱因斯坦相比存在差距，但他幸运地学到了泰勒教授的长处，弥补了自己的不足从而铺平了成功的道路。杨振宁说：“泰勒的物理学的一个特点，是他有许多直觉的见解。”“我跟吴大猷先生学了分子光谱学和群论之间的关系。学的方法，主要是推演法：是从数学推演到物理的方法。泰勒所注意的是倒过来的方法。他要从物理的现象引导出数学的表示。换句话说，他注重的是归纳法。我跟他接触多了后，渐渐了解到他的思考方法的好处。因为归纳法的起点是物理想象。从这个方向出发，不易陷入形式化的泥坑。”[12]杨振宁曾告诫后人：“在物理学中所追求的应该是新的、活的东西。应该面对与现象直接相关的东西。”谈到西方的学生，他说：“他们的学习

跟实验较为接近。在多次的实践中,就可能产生新的直觉的东西——经验。而这种直觉往往是科学研究工作中的重要环节,这种直觉存在的基础,是广深的知识和丰富的经验。"[1]

4.4.3 结 论

"我们的一切思想和概念都是由感觉经验所引起的,它们只有在涉及这些感觉经验时才有意义"[10]

"纯粹的逻辑思维不能给我们任何关于经验世界的知识;一切关于实在的知识,都是从经验开始,又终结于实验。"[10]

那些有志成为理论物理学家的学子们应该牢记爱因斯坦的这种认识,将更多目光汇聚在客观物理世界,从点滴做起。一滴水没有当然不会涌现波浪,但只有一滴或几滴水同样不会波涛汹涌,当一滴滴水汇集成江成河成海,自然而然就会波澜壮阔,且蒸为气、腾为云、闪出电、响出雷、降为雨、飘为雪,参与万物的生生不息,成鲜活的生命之源头,滋养一切。每一个自然现象、每一个物性、每一个实验都相当于一滴水。"物理学是以实验为本的科学,"[13]物理学发展的基本原动力永远来自实验,"科学家的首要任务是真实地体验所存在的事物。"[14]否则,理论物理学家就会成为脱离客观实在缺乏想像力且只能闭门造车的人。

参 考 文 献

[1]徐胜兰,孟东明.杨振宁传.长春:吉林科技出版社,1995.

[2]、[3]、[5]、[6]、[8]、[10]许良英,范岱年.爱因斯坦文集第一卷[M].北京:商务印书馆(第1版),1976,136;139;140;314;6;5;409;312;44;7;46;284;523;245;313.

[4]、[7]赵中立,许良英.纪念爱因斯坦译文集[M].上海:上海科学技术出版社(第1版),1979,223;220;138.

[9]刘盛际译,库兹涅佐夫.爱因斯坦——生·死·不朽[M].北京:商务印书馆(第1版),1988,55;56.

[11]杨建邺.傲慢与偏见——诺贝尔奖获奖者的误区[M].武汉:武汉出版社(第1版),2000,20.

[12]戴友夫:著名科学家演讲鉴赏[M].济南:山东人民出版社(第1版),1995,199.

[13]杨振宁语,转引自郭奕玲.物理学是以实验为本的科学[J].大学物理,1990(11),27.

[14]马斯洛著,邵威译.科学与科学家的心理[M].北京:北京大学出版社(第1版),1989,88.

4.5 物理学中的想象实验

爱因斯坦曾说:"想像力比知识更重要,因为知识是有限的,而想像力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想像力是科学研究中的实在因素。"物理学中的想象实验,是将想像力用于物理研究而形成的一种十分特殊又十分重要的实验方法。

1993年数学家Quine和Jaffe在文中提到,物理学已经有了分工:理论物理做"猜测",实验物理做"证明"[1]。理论物理大师杨振宁先生有类似而更详尽的说明:"……理论物

理的研究工作是提出‘猜想’,设想物理世界是怎样的结构,只要言之有理,不管是否符合现实都可以发表。一旦‘猜想’被实验证实,这一猜想就变成真理。一旦‘猜想’被实验否定,发表的论文便一钱不值……”[1]。

数学家和物理学家共同道明了现代公认的实验的作用:证实或证伪理论。而事实上还存在另外一类实验,它的主要作用是辅助想象推理。这类实验通常称为理想实验、假想实验、思维实验、思想实验或抽象实验等,我们认为统称其为想象实验更为准确。它是物理学理论思维的一种重要方法,对物理学上许多发现起过至关重要的作用。

伽利略是近代科学之父,爱因斯坦认为:“常听人说,伽利略之所以成为近代科学之父,是由于他以经验的、实验的方法来代替思维的、演绎的方法。但我认为,这种理解是经不起严格审查的”[2]。事实上,伽利略缔造了**真实实验、物理想象实验与数学演绎三者巧妙结合的近代物理科学方法**。他注意到当一个球从一个斜面滚下而又滚上第二个斜面时,球在第二个斜面上所达到的高度同它在第一个斜面上开始滚下时的高度几乎相等。他断定高度上的微小差别是摩擦造成的。他推想,在完全没有摩擦情况下,不管第二个斜面倾角多小,球在第二个斜面总将达到相同的高度。那么如果第二个斜面倾角为零,当球从第一个斜面上滚下后,将以恒定的速度在无限长“平面”上永远运动下去。摩擦永远无法完全消除,因此该实验只能存在于想象空间。伽利略这个想象实验为牛顿后来提出准确的惯性定律奠定了坚实的基础。

在热力学与统计物理领域,1867 年麦克斯韦提出了著名的麦克斯韦妖(Maxwell's demon)。1871 年他在《热的理论》一书中写道:“我们设想(等温)容器分为 A、B 两部分,在界壁上留一小孔,只令快速分子从 A 进入 B,而慢速的从 B 进入 A。这样他无需做功使 B 的温度升高,使 A 的温度降低,与热力学第二定律矛盾”[3]不过,麦克斯韦提出“妖精”的本意并不是要推翻热力学第二定律,而在于指出它的局限性,并用这个想象实验来阐明它只是统计上的可靠性。麦克斯韦妖受到了几代物理学家的关注,有关讨论,持续至今。

相对论与量子力学是现代物理的基石。相对论创始人爱因斯坦可以说是从想象实验步人理论物理研究的,并且想象实验方法伴随其终生,成为他不可缺少的研究方法之一。在狭义相对论中有关于同时性的相对性等想象实验;在建立广义相对论时他又设计了自由下落的升降机的想象实验,并由此孕育诞生了等效原理。

量子力学也不乏想象实验。海森堡的测不准原理是量子力学的基础。海森堡用来推导测不准原理的电子束的单缝衍射实验就是一个想象实验。因为中等速度电子的波长约 10^{-10}m 左右,与原子的间距属于同一数量级,因而只要让电子束穿过原子发生衍射的单缝,首先就必须做到把单缝周围的所有原子之间的空隙都堵死。而实际上这是根本不可能做到的。

今天物理学的研究,无论在微观还是在宏观越来越多地进人了不能完全直接靠实验证实阈证伪的领域。比如,我们不可能在实验室里让物体坍缩并看到它变成黑洞。因为引力坍缩要求物体的质量大于太阳的质量。在这种情况下,做想象实验,是我们所能做的事情中最好的。想象实验也曾有助于传奇物理学家史蒂芬·霍金。他说:“在 1970 年以前,我关于广义相对论的研究,主要集中于是否存在一个爆炸奇点。然而,同年 11 月我的女儿露西出生后不久的一个晚上,当我上床时,我开始思考黑洞的问题,”“……黑洞世界-即事件视界-是由刚好不能从黑洞逃逸而永远只能在边缘上徘徊的光线在空间-时间里的

路径所形成的。这有点像从警察那儿逃开,但是仅仅只能比警察快一步而不能彻底地逃脱的情景!""我忽然意识到,这些光线的路径永远不可能互相靠近。如果它们靠近了,它们最终必定互相撞上。这正如和另一个从对面逃离警察的人相遇——你们俩都会被抓住!"[4]正是基于这样的想象,1971年霍金证明了黑洞的面积定理:一个黑洞的视界的表面永不随时间减少。

以上史实说明想象实验在物理学发展中的作用是巨大的。事实上想象实验有更普遍的应用。解决一个物理问题,无论是科学研究的难题,还是一道普通的物理习题,总要分析物理过程。**分析物理过程的过程实际上往往就是做想象实验的过程**。这些想象实验有的在现实世界是不可行不能做的,而有的是可行可做的,但人们用不着每道简单习题均需用实验去真的证实一番环。既然物理学中把非真实实验归于一类,那么称其为想象实验比任何其他叫法更科学更全面。比如理想实验只是想象实验中一小部分,是真实实验借助于想象的理想化,它不能涵盖非真实实验的全部。

想象实验在历史上不论是用于反驳不合理的旧理论,还是用于建立新理论,都起到了积极的作用。之所以如此,是由于合理的想象是科学活动,不是唯心的行为。想象是人脑对未曾经历过的新事物的形象反映,想象的新形象不是凭空产生的,它以头脑原有的表象为基础,经过加工改造而形成。因此想象实验是以实践为基础的,它在真实的科学实验事实基础上,抓住主要矛盾,忽略次要矛盾,对实际过程做出了更深一层(甚至超越技术水平与现实)的抽象分析。在分析过程中是以一定的逻辑法则为依据的。而这些法则都是在长期社会实践中总结出来并为实践所证实的。

然而我们必须认识到,想象实验本质上毕竟是一种思维活动,无法避免人的主观局限性的制约,因此想象实验也可能导致错误。比如伽利略从斜面实验出发,最开始得出了惯性运动是圆周运动的错误结论;爱因斯坦用以反驳测不准原理的光子盒实验也被玻尔应用相对论证明存在致命的错误……但是,我们不能因此就禁锢人们的想像力。创造学有一个公式

$$创造力 \propto (知识量 \times 想象力) \div 惰性$$

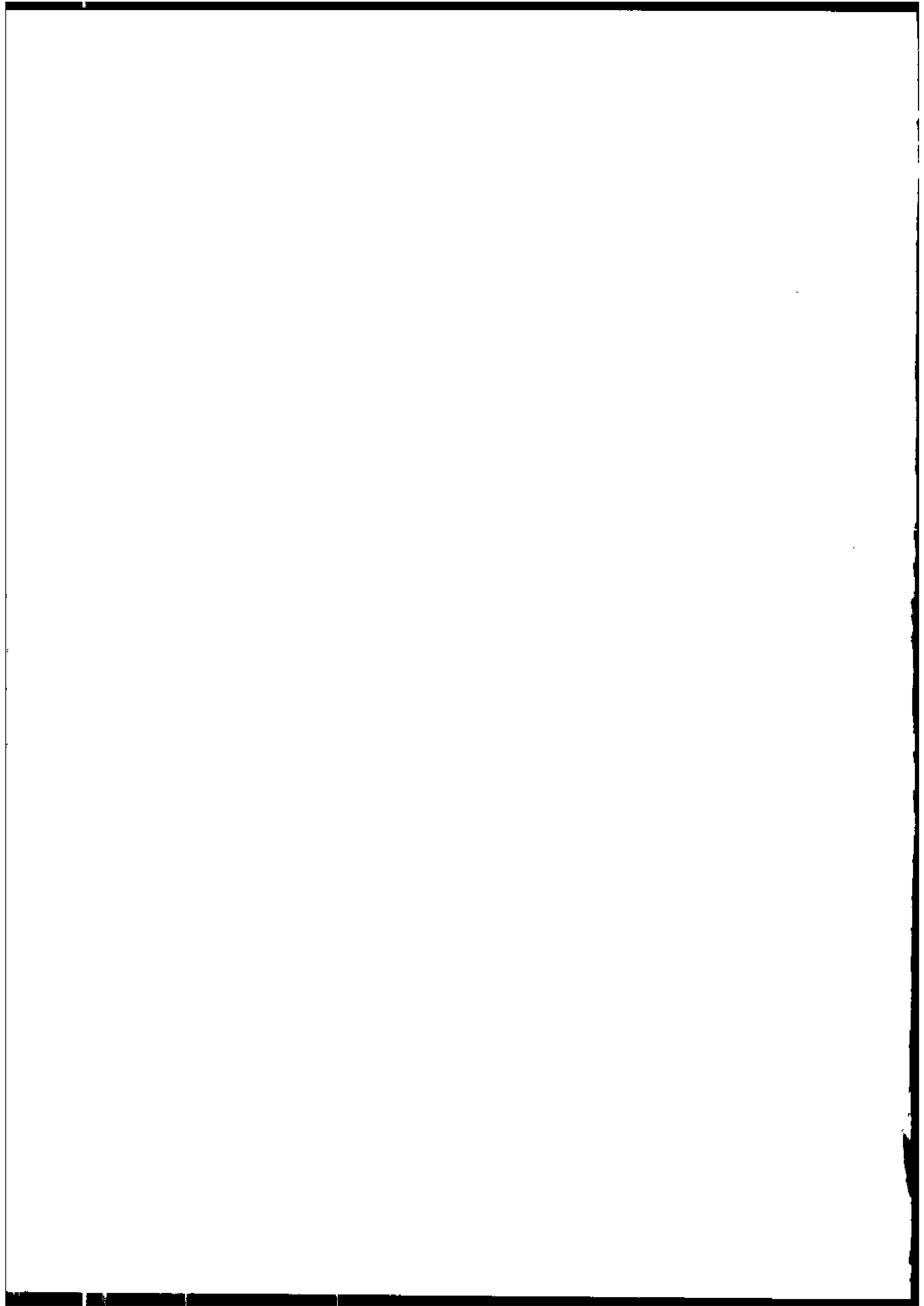
显然想像力为零则创造力将不复存在,而没有了创造,科学研究就丧失了生命力和灵魂。尤其在理论研究超越实验现实的时代,想象与想象实验必将成为人们研究问题的最有效手段之一。因为人们对形象思维更加轻车熟路,对它的偏爱已不自觉地成了人们思维定势。

参 考 文 献

[1]张莫宙. 数学与物理的关系. 科学, 1997(4): 8.
[2]许良英, 范岱年编译. 爱因斯坦文集(第一卷). 北京:商务印书馆, 1976.
[3]冯端, 冯步云. 熵与信息——麦克斯韦妖的启示(一). 现代物理知识, 1991(4):13.
[4][英]史蒂芬·霍金著. 许明贤, 吴忠超译. 时间简史. 长沙:湖南科学技术出版社, 1996.
(本文发表于2000年第3期《物理实验》)

第二编

物理学简史



第五章　古代物理学简史

5.1　中国古代物理知识及其应用举要

中国古代很早即有物理一词，但其泛指一切事物的道理。正如明末方以智的《物理小识》所说，“物理在一切中”，即使“性命、生死、鬼神”，也“只一大物理也。”有人认为“中国古代物理学是有术无学”，只是停留在经验阶段，没有理论、没有方法，充其量也只达到一定程度技术的层次。也有人认为中国古代人的与物理学有关的经验理论也是科学理论，中国古代物理学悠久而内容丰富。

抛开学术上的争论客观地讲，一方面中国古代人对许多物理现象有比较深刻的认识并上升到经验得以应用，另一方面中国古代人也曾对自然现象的认识达到极高度抽象的理论层次，并用这些理论理解和解释自然现象、物理现象。中国古代有没有物理学，这一方面不同人有不同的理解，另一方面重要的是必须依靠史实说话。只要对中国古代的物理知识和中国古代解释自然现象的理论有充分的认识，人人都可以得出一个结论。因此，认真学习这部分知识，就比一味地争论更加重要和有意义。而且人们对这个问题的结论，还受限于我们的历史观念以及我们所能掌握的史料之丰富程度，而这两方而都是可变量。如1987年在河南贾湖斐李岗文化遗址，现为中国科技大学研究员的张居中等人发现了距今8000年左右的完整的由鹤类长肢骨制成的骨笛，这些骨笛长约20cm，7孔，有7个音阶。这一发现使中国的音乐文化历史一举远远超越巴比伦、埃及的音乐历史。像这类发现的出现自然要修正我们对中国古代相关物理知识的历史看法。因此，随时间的推移、研究的进步、新发现的出现，人们对中国古代物理知识的认识难免还会发生变化。下面首先简单展示一下中国古人在认识自然现象时形成的物理知识及其应用情况。

5.1.1　*力学知识及其应用*

5.1.1.1　时空观

早在战国时魏国的尸佼（公元前390—公元前330）就给出了宇与宙的定义：“四方上下曰宇，往古今来曰宙。”（《尸子》）。不难看出，宇是指空间，宙是指时间。

《庄子：杂编·庚桑楚》中也提到了宇宙：“有实而无乎处者，宇也；有长而无本剽（本末）者，宙也。”意思是有实体而没有处所，叫做宇；有成长而不见本末，叫做宙。显然《庄子》认识到了物质寓存于空间（宇），而空间（宇）本身作为一种存在而不像物存于宇那样，存身于另一对象之中以及时间（宙）之绵延而无形无影属性。

《墨经》中也有与《尸子》意义相近的关于宇与宙（久）的定义：“宇，弥异所也”，“久（宙），弥异时也”。至汉代，张衡、王充更是认识到了时间空间的无限性：“宙之端无穷”（张衡：《灵宪》）；“天去人高远，其气苍茫无端末”（王充：《论衡》）。

中国古人关于宇宙的模型主要有三个。

(1) 盖天说。　最早的盖天说起于周代，主张“天圆如张盖，地方如棋局”（《晋书·天

文志》)。

(2) 浑天说。 主要代表人物是东汉的张衡,他认为:"浑天如鸡子,天体圆如弹丸,地如鸡中黄,孤居于内,天大地;天表里有水,天之包地,犹壳之裹黄。天地各乘气而立,载水而浮。"(张衡:《浑天仪》)

(3) 宣夜说。 传说出自殷代。《晋书·天文志》写道,宣夜之书亡,惟汉秘书郎郗萌记先师相传曰:"天了无质,仰而瞻之,高远无极,眼瞀精绝,故苍苍然也。譬之旁望远道之黄山而皆青,俯察千仞之深谷而窈黑。夫青非真色,而黑非有体也。日月众星,自然浮生虚空之中,其行且止皆须气焉。是以七曜或逝或住,或顺或逆,伏见无常,进退不同,由乎无所根系,故各异也。"

5.1.1.2 对运动的认识

《墨经·经上》说:"动,域徙也。"显然这是指物体位置改变的机械运动。

关于静止,《经上》说:"止,以久也。"表明对静止的理解物体在某一位置停留一段时间。

在《庄子》中,庄子记述了其好友惠施的一些学术观点,其中有:"轮不碾地"以及"飞鸟之景未尝动也"的说法,可以想见其对运动的思索已达到相当高的认识水准。

中国古人对运动的相对性较早也有了清楚的认识,有关这方面的文献很多,如汉代成书的《春秋纬·元命苞》中即说:"天左旋,地右动。"而南唐的谭峭在其著作《化书》中也说:"作环舞者,宫室皆转,瞰迴流者头目自旋。"

更加令人惊异的是在汉代成书的《尚书纬·考灵曜》中,我们可以看到善于观察的古代中国人竟然认识到了力学的相对性原理的思想:"地恒动不止,而人不知。譬如在大舟中,闭牖而坐,舟行而人不觉也。"

力学的相对性原理也叫伽利略相对性原理。在1623年出版的伽利略的著作《两大世界体系的对话》中,伽利略是这样描述的:"把你和一些朋友关在一条大船甲板下的主舱里,再让你带几只苍蝇、蝴蝶和其他小飞虫。然后,挂上一个水瓶,让水一滴一滴地滴到下面一个宽口罐里。船停着不动时,你留神观察,小虫都以等速向各方面飞行,鱼向各个方向随便游动,水滴滴进下面的罐子中。你把任何东西扔给你的朋友时,只要距离相等,你向这一方向不比向另一方向用更多的力。你双脚齐跳,无论向哪个方向跳过的距离都相等。当你仔细观察这些事情后(虽然当船停止时,事情无疑一定是这样发生的),再使船以任何速度前进,只要运动是匀速的,也不忽左忽右地摆动。你将发现,所有上述现象丝毫没有变化,你无法从其中任何一个现象来确定,船是运动还是停着不动。……"

伽利略的思想与中国古人的智慧何其相似!最保守地估计中国古人的这一思想的提出早于伽利略也在1600年以上。

5.1.1.3 动力学方面的知识

《考工记》中说:"马力既竭,辀犹能一取也。"显然对惯性有了一定的认识。

王充在其《论衡·状留编》中说:"车行于陆,船行于沟,其满而重者行迟,空而轻者行疾。"可见王充的观点现在看来,对惯性有了更进一步的认识。

《墨经·经上》说:"力学,刑之所以奋也。"这句话的含义,学术界还有争议,但不可否认这是有意识的对力的一种定义,而这句话很大程度上断定了力与形变的关系。

《墨经·经上》说:"力学,重之谓。"这表明在当时看来,重力仍是最常见最重要的力之

一。直到近代西方力学早期翻译成中文时,还曾译为重学。

中国古人对弹性力也曾有深刻的认识。《考工记·弓人》中有"量其力,有三均"的说法。东汉郑玄在注解时说:"参、均者,谓若干胜一石,加角而胜二石,被筋而胜三石,引之中三尺。假令弓力胜三石,引之中三尺,弛其弦,以绳缓擐之,每加物一石则张一尺,故书'胜'。"唐代贾公彦对郑玄的话又做如下解释:"此言谓弓未成时,干未有角,称之胜一石;后又安角,胜二石;后更被筋,称之即胜三石。'引之中三尺'者,此据干、角、筋三者俱总,称物三石,得三尺。若据初空干时,称物一石,亦三尺;更加角,称物二石,亦三尺;又被筋,称物三石,亦三尺。郑又云'假令弓力胜三尺,引之中三尺'者,此即三石力弓也。必知弓力三石者,当'弛其弦,以绳缓擐之'者,谓张之,别以一条绳系两箫,乃加物一石张一尺;二石张二尺,三石张三尺。"

学术界基本认为中国古人在制造弓弩的过程中应用了弹性定律的知识。弹性定律在西方称胡克定律,由英国物理学家胡克于 1660 年左右发现,而这比郑玄即晚了近 1500 年。

汉代王充除对惯性有比较深刻的认识,还清楚只有外界其他物体的作用力才能改变物体的状态。他在《论衡·效力编》中说:"古之多力者,身能负荷千钧,手能决角伸钩,使之自举,不能离也。"

5.1.1.4　简单机械方面的知识及应用

杠杆是最简单的机械,中国古人制造的简单机械中,应用杠杆平衡原理的也最为常见。

将一长杆通过绳索悬挂于一立柱上,以悬挂点为支点,长杆可象秤杆一样上下摆,使支点不在杆的中点,这样的装置中国古人称之为桔槔。传说商汤时"伊尹始作桔槔"(明代罗颀:《物原》)。这种装置在 20 世纪 70～80 年代中国农村尚可普遍看到,主要用于取水,在杆系桶的另一端一般还可以系重物,根据杠杆平衡原理,这样提水时省力。汉刘向在《说苑·反质》中说:"卫有五丈夫,俱负缶而人进灌韭,终日一区。邓析(春秋末人)过,下车为教之曰:'为机重其后,轻其前……终日灌韭,百区不倦'。"

利用杠杆原理的还有脚踏碓、水碓以及天平、杆秤等等。

《墨经·经说下》说:"衡,加重于其一旁,必捶权,重相若也。相衡,则本短标长。两加焉,重相若,则标必下,标得权也。"学术界认为这叙述的是杠杆平衡原理。其中标与本分别指秤杆的支点到秤锤之距离和支点到悬秤钩处之距离,权即秤锤或砝码。

1954 年在湖南长沙左家公山战国楚墓出土的天平横杠长 27 cm,离杆端 0.7 cm 处有两个盘,以两为单位的砝码系列有:4.00,1.78,1.00,0.495,0.25,0.15,0.062,0.043,0.026。

滑轮,古代称滑车。从春秋战国开始即有广泛应用。《墨经》中的"绳制"也指滑轮。《礼记正义》说公输班为季康子葬母创造了转动机关,为助楚攻宁创制了云梯,其中都使用了滑轮。辘轳可能产生于商末周初。宋代曾公亮《武经总要》说:"周武王以飞桥、辘轳,越沟堑,飞江天"。

5.1.1.5　流体力学方面的知识

从上古人们"见窾木浮而知为舟"(《淮南子》)、东周时人们以舟量物(《符子》)到北魏贾思勰《齐民要术》中水浮验稻种法,都提示了古人对浮力的认识及应用。

汉代的《淮南万毕术》中记载:"首泽浮针。注云:取头中垢以涂塞其孔,置水即浮。

明末刘侗、于奕正在《帝京景物略》中写道:"水面坐膜,锈针投之则浮。"

这两则史料反映了古人对液体表面张力的认识。

中国古人对大气压的认识和应用更加引人注意。

东汉末年人们已能利用渴鸟(虹吸管)灌溉农田。

南北朝成书的《关尹子》中说:"瓶存二窍,以水实之,倒泻;闭一则水不下,盖(气)不升则(水)不降"。

唐代王冰在《素问论》中对此有过解释:"虚管既满,捻上悬之,水固不泄,为无升气而不能降也;空瓶小口,顿溉不入,为气不出而不能入也。"

宋曾公亮在《武经总要》中写道:"凡水泉有峻山阻者,取大竹去节,雄雌相合,油灰黄蜡固封,勿令泄气,推竹首人水中五尺,于竹末烧松桦或干草,使火气自竹内潜通水所,则水自中逆上。"可见在当时的历史条件下,对大气压的大型利用已近完善。

虽然没有专门的著述,但从古代的一些天才制作上我们不难看出,古代中国人的力学知识和经验是相当丰富的。如西汉刘歆的《西京杂记》所载的巧匠丁缓制作的"被中香炉":"为机环转运四周,而炉体常平,可置被褥中,故以为名。"其原理与飞机、导弹及鱼雷上使用的陀螺仪中的万向支架如出一辙,涉及重心、平衡以及回转效应等物理知识。制作这种器物,必定有明确的指导思想才能成功,因为这不是靠本能就可以实现的,恐怕仅以一个巧字也难以完成,而非有足够的力学经验与知识的累积不可。类似的天才设计在西方,1500 年左右才由达·芬奇提出。

5.1.1.6 声学知识

中国古代的声学知识是相当丰富的。

如《考工记》记载说:"凫氏为钟……薄厚之所震动,清浊之所由生",明确了声音是由物体振动面产生的。东汉的王充在《论衡》中说:"生人所以言语吁呼者,气括口喉之中,动摇其舌,张歙其口,故能成言。……夫箫笙之管,犹人之口喉也,手弄其孔,犹人动舌也。"说明王充认识到了空气振动成声的道理。

明宋应星在著作《论气》中,说:"气本浑沦之物,分寸之间,亦具生声之理,然面不能自为生。……冲之有声焉,飞矢是也;界之有声焉,跃鞭是也;振之有声焉,弹弦是也;……持物击物,气随所持之物面逼于所击之物,有声焉。……凡以形破气而为声也,急则成,缓则否,劲则成,懦则否。……故急冲急破,归措无方,而其声方起。"在宋应星对发声原理的认识中,隐然透出,物体的振动(声源)不是根本的第一位的原因,占据第一位置的是气,声乃气生,声源对气"生声"只是一个外界条件、对气的一种触发:或冲之或界之或振之……,然而宋应星对声音在空气中的传播有深刻的认识:"物之冲气也,如其激水然。气与水,同一易动之物。以石投水,水面迎石之位,一拳而止,面其纹浪以次开之,至纵横寻丈而未歇。其荡气也亦犹是焉,特微渺而不得闻耳。"在西方,到 17 世纪中期哲学家、科学家伽桑狄仍将声音的传播看成发声体向周围发射的极小、看不见的粒子流的运动。

北魏郦道元的《水经著》中记载:"江陵城地东南倾,故缘以金堤,自灵溪始,恒温令陈遵造。遵……使人打鼓远听之,知地势高下。依傍则筑,略无差矣。"由此可以推测陈遵对声音传播的速度应该有一定的认识。

在诸多声音现象中,中国古人对声音的共鸣很有兴趣,因为这正好可以用来类比他们

的各种感应思想。公元前3～4世纪在《庄子·徐无鬼》中就有关于共鸣现象的记载："为之调瑟，废(放置)于一堂，废于一室，鼓宫宫动，鼓角角动，音律同矣。"

《吕氏春秋·应同》中说："类固(同)相如，……声比则应。鼓宫而宫动，鼓角而角动。"西汉董仲舒在《春秋繁露·同类相动》中说："气同则会，声比则应，其验昭然也。试调琴瑟而错之，鼓其宫则它宫应之，鼓其商而他商应之，五音比而自鸣也，无相动相形则谓之自然，其实非自然也，有使然者矣。"其中的宫、商、角、徵、羽即中国人所说的"五音"。大宫与小宫，大角与小角频率比为1:2，都是相隔八度的两个音阶，由此可知"声比则会"的内在含义。

汉代郑玄在集解《史记》中则进一步说："乐之器，弹其宫则众宫应。"意思是与宫音同高或高一个、二个乃至几个八度的宫音的弦线都可以和宫音弦共鸣。

到了晋时，人们不仅熟知共鸣的产生条件，还找到了改变物体固有频率因而消除共鸣的方法。

南北朝刘敬叔在《异苑》中载："晋中朝时，蜀中有人蓄铜澡盆，晨夕恒鸣如人叩，乃问张华。华曰：'此盘与洛阳钟宫商相谐，宫中朝暮撞钟，故声相应。可错令轻，则韵乖鸣自止也。'依其言，即不复鸣。"

至宋时，沈括在《梦溪笔谈》中作了弦线共振的演示实验："琴瑟弦皆有应声：宫弦则应少宫，商弦则应少商，其余皆隔四相应。今曲中有(应)声者，须依此用之。欲知其应者，先调诸弦令声和，乃剪纸人加弦上，鼓其应弦，则纸人跃，他弦即不动。声律高下苟同，虽在他琴鼓之，应弦亦震，此之谓正音。"

中国古人也曾制作较复杂的发出乐音的机械，如《西京杂记》载："汉高祖初入咸阳宫……复铸铜人十二枚，坐皆高三尺，列在一筵上，琴筑笙竽各有所执，皆缀花采，俨若生人。筵下有二铜管，上口高数尺。出筵后，其一管空，一管内有绳，大如指。使一人吹空管，一人扭绳则众乐皆作，与真乐不异焉。"

5.1.2　光学知识及应用

光给人们的活动带来了方便。中国古代人与光现象有关的知识十分丰富，若干重大贡献如下。

《墨经》中有："目以火见"的记载，《庄子》中记载的惠施的观点也有"目不见"之说，说明那时的中国人已认识到了人眼依赖光才能看见东西的道理。而在古希腊，学者多认为人眼睛里发出一些微粒，接触到物体才能产生视觉。

中国古代对光学做出理论探索最早而且成绩最大的属《墨经》的作者。根据钱临照先生的研究(见《物理通报》1951年第3期)，《墨经》中关于光学的内容有八条：

① 景不徙，说在改为；

② 景二，说在重；

③ 景倒，在午有端，与景长，说在端；

④ 景迎日，说在抟；

⑤ 景之小大，说在柂(斜)远近；

⑥ 临鉴而立，景倒。多而若少，说在寡区；

⑦ 鉴洼，景一小而易，一大而正，说在中之外内；

⑧ 鉴团,景一。

将这八条与《墨经》上相应的《说》部分相参照,学术界认为这八条叙述的分别是:影子生成的原理;光线与影的关系;光线直线传播的实验(小孔成像);光反射特性;从物体与光源的相对位置确定影子的大小;平面镜反射成像现象;凹面镜的反射成像现象;凸面镜的反射成像现象。这些认识使得《墨经》在光学史上占有重要地位,它是世界上最早的载有比较完整几何光学内容的著作。近年来又有学者指出《经上》所言:"荆之大,其沈浅也。说在具"以及《经说下》所言:"荆:沈,荆之见也,则沈浅非,荆浅也。若易五之一。"并非关于浮力而是明确表述了折射概念以及水折射的定量测量。(见李志超:《墨经》光学第九条——折射的定量观察。自然科学史研究,2002 年第 1 期)

对于透镜的聚光性汉代的《淮南万毕术》中有明确记载:"削冰令圆,举以向日,以艾承其影,则生火。"

南唐谭峭在《化书》中写道:"小人常有四镜:一名圭,一名珠,一名砥,一名盂。圭,视者大;珠,视者小;砥视者正;盂,视者倒。观彼之器,察我之形;由是无大小、无短长、无妍丑、无美恶。"依李约瑟先生之解释,"四镜"应为透镜类。

在中国古人对光学的研究中,元朝赵友钦的大型实验——"小罅光景",可谓充分体现了物理学实证的科学精神。据他的《革象新书》所记,为研究光源通过小孔成像问题,赵友钦在相邻的两个房间的地上挖了一个直径约 4 尺的圆阱,左阱深 8 尺,右阱深 4 尺,左阱内放一张 4 尺高的桌子,又将两块约直径 4 尺的圆板分别置于左阱桌上和右阱底,圆板上各插 1000 余支蜡烛,再为两口阱准备好当中开了大小和形状各不相同的洞孔的盖板若干块,又在西房间的天花板下各设一块可改变高度的平板作为屏幕。赵友钦做了下面几个实验:

① 改换不同的盖板,即改变光孔的大小和形状;

③ 改变点燃蜡烛的数目,即改变光源的强度;

④ 改变作为光屏的木板的高度,即改变像距;

⑤ 撤去左阱中的桌子,把其上的蜡烛置于阱底,即改变像距。

通过实验,他得出了一些正确的定性结论:

"景之远近在窍外,烛之远近在窍内。风景近窍者狭,景远窍者广。景广则淡,景狭则浓。烛虽近而光衰者,景亦淡;烛虽远而光盛者,景亦浓。""小景随光之形,大景随空之像,断乎无可疑者。"

另一位元代人,早赵友钦近半个世纪的郭守敬,利用小孔成像原理改进天文测量仪器,于 1279 年 5 月 30 日测得夏至影长为 12.3695 尺,同年 12 月 11 日冬至影长为 67.7400尺。对这一结果,法国大数学家、物理学家、天文学家 P. S. M. Laplace 评价说:"公元 1277 年至 1280 年间的观测之所以重要,是由于它们的高度精确性,也由于它们明确地证实了地球轨道倾角和轨道偏心率自那时起到今天缩小了多少。"(P. S. M. Laplace:《Exposition du systeme du monde》,6th ed. Paris, p389)

5.1.3 电磁学知识

中国古代对电磁现象多以元气说予以解释。

《淮南子·坠形训》说:"阴阳相薄为雷,激扬为电","电,激气也。"

王充的《论衡·雷虚》说:"夫雷之发动,一气一声也。"

明代刘基:"阳气闭于阴,必迸,迸极而进,进而声如雷,光为电,犹火之出炮也。而物之当之者,柔为穿,刚必碎……"(王绵光,洪震寰:《中国古代物理学史话》)

王充的《论衡·乱龙》说:"顿牟玳瑁掇芥,磁石引针皆以其真是,不假他类,他类有似,不能掇取者何也?气性异殊,不能相感也。"这里显然是将静电与静磁现象归于一类而论之。《吕氏春秋》、《淮南子》、《山海经》等著述中也均有"慈石吸铁"的记载。如《淮南子》说:"若以慈石之能连铁也,而求其引瓦则难矣",并且进一步知道:"及其于铜则不通"。

《水经注》载:秦始皇阿房宫门有用磁石建造的,以防刺客藏铁器人。

在磁之医疗功用方面,中国古人也早就有所认识。晋代人葛洪记载过用枣核大的磁石吸出过小儿误吞的铁针的方法,还有磁化过的水可以疗疼等记载。

有些令古人不解的电磁现象也被记载下来。

《汉书·西域传》说:"元始中(公元3年)……矛端生火"。

西晋张华在《博物志》中记载:"今人梳头脱着衣时,有随梳解结有光者,但有咤声。"这一生活中的现象在西方玻义耳1738年才注意到。(卡约里《物理学史》,内蒙古大学出版社)

唐代段成式在《酉阳杂俎续集卷八》中也写道:"猫黑者,暗中逆循其至,即著火星。"

宋代沈括《梦溪笔谈》记载:"一家遭雷后,宝刀银器等熔流于地,而草木无一毁者"以及"雷火熔宝剑而鞘不焚"。

指南针的发明无疑是中国古人电磁知识应用之精华。

战国时《鬼谷·谋编》说:"郑采玉者以司南指路。"

《韩非子·有度》说:"先王立司南,以端朝夕"(正西方)。

可见用磁性物质指南定向,在中国历史悠久。但早期所述缺乏具体的司南制法。

1044年北宋曾公亮在《武经总要》中介绍了指南鱼之制法:以薄铁叶成鱼形,烧红后顺地南北向在水盘中冷却,尾部并稍微下沉几分(磁倾角),以密器收之,用时置水碗于无风处,鱼首常向南。显然这是利用地磁场来磁化指南鱼。

宋代沈括对各种司南做了比较研究,认为悬单丝法最善:以新茧单丝,用少许芥子大小腊加在针腰,于无风处悬之。同时,沈括发现了地磁偏角:"针……常微偏东,不全南也。"在西方航海家哥伦布于1492年才注意到类似现象。

5.1.4 郑复光的地脉说——中国古代地磁场论的最高成就

5.1.4.1 引　言

关于中国古代的磁学,李约瑟先生有过高度评价:"中国人在这方面是如此的领先于西方人,以至于我们差不多可以冒险猜测:如果社会条件有利于现代科学的发展,中国人可能已经首先通过磁学和电学的研究,先期转到场物理,而不必通过撞球式的阶段了。假如文艺复兴发生在中国而不是欧洲,整个文明的次序也许会完全不同。"[1]

受文献的局限本文作者未能见到李约瑟这一评价的原文(或原著),因此不清楚他是在什么背景什么语境下做此猜测的。文献[1]在引述李约瑟的观点之前一句是:"只要元气论占主导地位,中国就不可能出现牛顿式的力学,而只能会产生笛卡儿式的以太旋涡说。"由此推测,李约瑟应该是在中国古代一直元气说占主导地位而没有西方的系统原子论的意义上做出猜测的。李约瑟对中国的元气说是有深入研究的,他曾经说过中国古代

的气"可以是气体或水汽,但也可以是一种感应力,象现代人心目中的以太波或辐射波一样精微。"[2]

以太与场在现代物理学家看来虽然相似但还是有区别的。那就是"自然科学里的以太只是作为传递物质间相互作用力的一种假想的介质而存在,以太和实物却仿佛是隔绝的。"[3]而在现代物理中"场的聚和散便形成实物和场的转化,亦即场将激发成为各种各样的粒子。"[3]因此场与实物可以互相转化而不是彼此隔绝的。何祚庥先生基于这样的认识而认为气"……与其说接近于以太,不如说更接近于现代科学所说的场。"[3]

但是在讨论早期的法拉第以及麦克斯韦的经典电磁场论时这种区别又是不存在的。早期的场就是指存在于电荷或磁极周围空间的特殊媒介。场与实物间相互转化的观点只属于量子场论的范畴。中国古代的元气说的存在是众多学者认为中国古代的物理科学范式更接近于场论的依据。但在西方科学史上,笛卡儿的以太旋涡说虽然与法拉第的电场磁场有一定的相似性,不过从内容上看,还不能与法拉第的电场与磁场概念简单等同。也有人认为笛卡儿提出以太旋涡说是受中国元气说影响的结果。[3]因此如果仅仅局限于元气论,则我们也没有令人完全信服的证据可以断定中国的元气就相当于西方的场而不是以太。那么中国古代有没有比元气论更接近于场论的思想,存不存在介乎中国的元气与西方的场之间由元气说发展出来而更近乎场的内涵的概念呢?如果存在这样的思想和概念,则说中国的元气说更近于场论就多了进一层的理由,说中国古代物理科学范式更接近更符合场论也更加令人信服。本文作者认为答案是肯定的,这样的思想就是地脉说,这样的概念就是地脉。

5.1.4.2 中国古代的地脉说

1.经络学说

《黄帝内经》中有系统的人体经络理论,经络理论也是《黄帝内经》理论体系的重要组成部分。《黄帝内经》与中国古代多数自然哲学著作中的基本观点一致,认为气是世界的本源。在中国古人看来,世界即天地,《黄帝内经》说:"清阳为天,浊阴为地。"此处阴阳即指阴气与阳气。气是富于变化的,《黄帝内经》说:"气之升降,天地之更用也。"

《黄帝内经》中的气本论并没有满足于"天地合气,万物自生"等泛化之说。这是作为一部医学著作的特殊性要求所决定的,理论必须细化为比较具体的物质运动过程并有一定的可"证实性"、可"操作性"的依据。

所谓经络就是运行气血以联络脏腑肢节的通道。经络是经脉和络脉的总称,经脉是主干,络脉是分支。经脉又可分为正经和奇经两类。正经有 12 条,即手足三阴三阳经,合为十二经脉;奇经有 8 条,即督脉、任脉、冲脉、带脉、阴跷脉、阳跷脉、阴维脉和阳维脉,纵横交叉于十二经脉之间。络脉是经脉的分支,有别络、浮络和孙络之分。

总体来看,经络就像一张网一样,从经脉到络脉再进一步细化到如浮络、孙络等,遍布人体各处。无论经还是络都是脉,也就是说它们只是人体血气通道即脉的细化分支名称而已。《黄帝内经》的《灵枢·脉度》编说:"阳脉不和则气留之","阴脉不和则血留之。"十分明显,脉是气血通道。

经络说是中医主要的理论基础。即使在医学领域之外,从整个中国古代自然科学和自然哲学高度来看,经络学说也是十分有价值的。它实质上超越了中国古代高度抽象泛化的气论而建立了气与特殊的物质系统(人体)之间相互作用相互影响关系的机制的一种

理论模式，是气论应用的重大进展。经络系统对针刺的反映即针刺中的“得气”和“行气”现象，为经络说提供了古人和中医家坚信的可靠的“实证”依据。

2. 地气说

人体内有气才有脉，与此相似要形成地脉说必须得有“地气”。

中国古代的气论认为元气分阴气与阳气两大类。后来气论与五行学说相结合又有所谓五气说，当然这五气还是隶属于阴气阳气两大类。朱熹就说：“五行虽有质，他又有五行之气，……阴阳二气，截做这五个，不是阴阳外别有五行。”[4]进一步，中国古人认为每一种具体的物质形态都对应一种具体的相应的气。如东汉王充曾说：“顿牟掇芥，磁石引针，皆以其真是，不假他类。他类肖似，不能掇取者，何也？气性异殊，不能相感也。”可见在王充看来，有一类物必有一类气，物即使表面相似而实质不同则其气也就不同因此感应作用相比悬殊。再比如，东汉魏伯阳在《周易参同契》中，有“金气”、“正气”、“太阳气”、“山泽气”等说法，对气的分类更加细化。

基于这样的气论思想，认为地有地气的观点在中国古代就是十分自然不难理解的。

《黄帝内经·素问·阴阳应象大论》编就指出：“地气上为云，天气下为雨；雨出地气，云出天气。”

西汉农学著作《氾胜之书》中，有“天气”、“地气”、“土气”、“类气”等等说法。

宋代农书《陈旉农书》中也有“天气”与“地气”之说，并认为“地气”就是“土壤气脉”。[5]

3. 人、地类比

晋代的张华曾将地比于动物：“地下有四柱，四柱广十万里。地有三千六百轴互相牵制。……地以名山为之辅佐。石为之骨，川为之脉，草木为之毛，土为之肉……”[6]

《撼龙经》明确地将地与人体相类比：“须弥山是天地骨，中镇天地为巨物。如人脊背与顶梁，生出四肢龙突兀。四肢分出四世界，南北东西为四脉。西北崆峒数万程，东人三韩隔杳冥。惟有南龙入中国，胎宗孕祖来奇特。黄河九曲为大肠，川汇屈曲为膀胱。分脉擘脉纵横起，气血勾连降水住。”[7]

既然地与人可类比，那么人有人脉，地有地脉就十分自然了。南宋郑所南对地脉说有较详细描述：“孰知夫大地之下，皆一重土，一重泉，相间为九，因而曰九地、九原、九垒、九泉也。层负万气，支缕万脉，柔顺巩固，蒸化流躍，斜细其轴，互为钳锁，深远其机，密相橐籥。张布玄网，维络地根，非金非石，非水非土，千千万万，经攒纬织，牢牢不可解，重重不相碍，绵亘持抱，几千万亿里。……其能如是者，乃大地底至深至玄，先天先地，一脉真阳生意，流行之妙也。……真阳生意，躍为浮散，流溢于浅浅之处，则地气泄而虚耗，不同之犹不足，凡万事皆不宜；真阳生意妙于凝合，反抱乎深深之根，则地气密而柔实，虽费之亦有余……《淮南子》、《博物志》所载：地下有四柱三千六百轴。非真有其形，聊借譬喻真阳生意有大力量，负荷世界，支撑劫运也。……世人肉眼不见身内支脉，节节有条理，意以此身为块然之肉；世人肉眼亦不见地底支脉，井井有条理，亦竟以大地为块然之土。殊不知天地人万物，皆有文理支脉。烟缕冰澌、壁裂瓦兆，尚有文理；谓之地理，独无文理支脉乎？”[8]人体中的脉是血气通道，地之脉应是地气之通道，显然这段引文反映了这一类推。但是后来地脉概念脱离了这一原始含义。如明末方以智曾提出“阳气生地脉”说：“多埋石硫者其地暖。……地中火气，行遇湿凝石，即成地脉。物恶冷而向暖，屋北有高墙则人暖

而气旺,气旺则外不受侵。以雄黄椒封壁,足以远湿。乘生气审藏聚,即此意。"[9]显然,方以智的地脉应是指地气受阻而形成的使地局部变暖的因素与地脉是气的通道的说法有明显区别。

5.1.4.3 郑复光的地脉说

清代学者郑复光在他的著作《费隐与知录》中,提出了极具新意的地脉说,用以解释地磁现象。

1.郑复光前的地磁知识

指南针是中华民族的"四大发明"之一。传说在黄帝时代即有了指南车。东汉王充在《论衡》中也曾指出:"司南之杓,投之于地,其柢南。"但东北师范大学物理系刘秉正教授认为,天然磁石难于雕琢成司南,[10]司南为天上北斗,并非指向器[11]。

到了宋代,人们学会了制造磁针,文献也明确记载了指南针的制造方法。如曾公亮在《武经总要前集》十五卷中写道:"若遇天景曀霾,夜色暝黑,又不能辩方向,则当纵老马前行,令识道路,或出指南车及指南鱼,以辩所向。指南车世法不清。鱼法以薄铁叶剪裁,长二寸阔五分,首尾锐如鱼形,置炭火中烧之,候通赤,以铁钤钤鱼首出火。以尾正对子位,蘸水盆中,没尾数分则止,以密器收之。用时置水碗于无风处,平放鱼在水面令浮,其首常南向午也!"

在曾公亮之后大约半个世纪,沈括在其著作中亦提到:"以磁石磨针锋,则锐处常指南,亦有指北者,恐石性亦不同,如夏至鹿角解,冬至麋角解。南北相反,理应有异,未深考耳。"[12]用磁石磨铁针过程就是使铁针磁化的过程。分别与磁石之南极、北极相磨铁针磨端所获极性相反,因而其有指南的也有指北的。沈括不明其理且"未深考"而误以为这是磁石的物性相异而导致的。

沈括还记载了地磁偏角这一现象:"方家以磁石磨针锋,则能指南,然常微偏东,不全南也。"[13]沈括限于知识不明其故而只能泛泛类比:"……磁石之指南,犹柏之指西……"[13],但他还是认为这不是合理的解释,承认自己"……莫可原其理。"[13]

为何磁石或磁化后的铁针指南?为何磁针略有偏东?明末学者方以智在其著作中说:"磁针指南何也?……愚者曰:'蒂极、脐极、极轴,子午不动,而卯酉旋转。故悬丝以蜡缀针,亦指南。'存中云,此处指南必偏丙位。舶商言大秦西海偏丁位。则中土在昆仑东,彼海在昆仑西,其气随地势而少变者乎?"[14]戴念祖先生认为:"由于地球是大磁体的概念在方以智著作中未曾明言,或者传教士本身也尚不知此事,因此,方以智的解释是模棱两可,含混不清的。难怪在其后,一些中国学者还持传统的五行元气之说解释磁极性。"[15]

2.郑复光对地磁现象的解释

郑复光为解释地磁现象尤其地磁偏角现象而在其著作《费隐与知录》中提出了"罗针偏东由于地脉"的地脉说。

该书以一问一答形式写成。首先提出的问题是:"铁能指南,何以中国偏东而西洋人又谓在大浪山东则指西,在大浪山西则指东。惟正在大浪山则指南,其说信乎?"回答说:"西说既非身亲姑可不论,而中国偏东,京都五度、金陵三度,既见诸书确然无疑。而偏则各地不同。从仪象志图悟得各顺其地脉也。地脉根两极南北,如植物出土皆指天顶,但不能稍曲焉。又地脉之根止有地心一线其处最直,而渐及地面不无稍曲。针为地脉牵掣故偏亦甚微。"

郑复光的思想是非常重要的，他的地脉说有以下几大突破：

(1) 郑复光明确赋予了地脉以确切的物理的力学的性能："针为地脉牵掣"，地脉是能够对磁针施予力的作用的；

(2)《黄帝内经》中人的脉络存在于人的体内及体表。后来将大地之体与人体相类比而产生的地脉概念也未突破这一局限。但在郑复光的地脉说中这一局限实际上是不存在的。因为在大地之上的磁针能"为地脉牵掣"，显然地脉是可以超越大地之体而在地球附近空间是可以存在的；

(3) 郑复光将地脉抽象为无数曲线组成的曲线族：地脉"根两极"而"止有地心一线其处最直，渐及地面不无稍曲"。

将(2)和(3)联系起来看，地脉就是根于地球两极而在地球的体内体外都存在的封闭的曲线族，而这些曲线又能对磁针施以力的作用。虽然言简意赅，但显然郑复光的地脉概念已经十分接近法拉第的力线概念：是地球(大磁体)周围存在的能对磁针给予力的作用而使之指南(或偏向)的曲线。二者相比较，郑复光的思想还有独特的优势：正因为地脉源于经络说，因此他的地脉自然地在磁体内部也具有；而法拉第更强调磁力线是磁体附近空间的一种物质形态。因此从空间分布角度看郑复光的地脉兼具前于他的地脉说以及法拉第的力线思想的优点而又比二者都更为合理。

在西方，人们对法拉第的力线概念给予高度评价，如J·J·汤姆孙就曾说过："在法拉第的许多贡献中，最伟大的一个就是力线的概念。"[16]

法拉第最早于1831年11月24日在向皇家学会宣读他发现的电磁感应的论文中，开始使用"磁力线"这个概念。他称磁力线是这样一些曲线："它们能用铁屑描绘出来，或者对于它们来说，一根小磁针构成一条切线。"[16]

如同郑复光认为一根一根的地脉是真实存在的一样，法拉第也认为磁力线是真实存在的："我不得不深信磁力线概念的真实性，因为它是以实验为基础建立起来的，而不是纯粹假设性的。"[17]法拉第"把布满力线的空间称之为'场'"[17]。这一点早即为法拉第的好友丁铎尔(J. Tyndall)认识到了："丁铎尔认为法拉第是从磁力或磁力线在空间中的变化和分布的认识才提出场概念的。"[18]后来麦克斯韦也说："我想他(指法拉第)却或许会说，空间的场中是充满了力线的……作用在每一物体上的机械作用力和电作用力则取决于连接在物体上的力线。"[19]

在1851年6月11日出版的《皇家学院研究报告集》中法拉第撰文再次指出："在磁体内外，物理力线确实存在。它们可以曲线形式或直线形式存在着，……没有一个孤立的条形磁体，……它的两极性一定是以曲力线形式在外部发生联系的，因为直线不能同时接触到具有北极性和南极性的两点。"[20]不难想象，这给出的磁力线围绕磁体内外的模型，与郑复光的地脉围绕地球内外的模型十分类似，而且一根根磁力线与一根根地脉对于置于其中的磁针具有相同的力学作用。

需要指出的是，虽然可以肯定郑复光的地脉与法拉第的磁力线具有同样的思想内涵，但郑复光依据他的地脉说解释地磁偏角现象还是笼统而不成功的。因为在他的地脉说基础上解释这一现象还需要一个基本的必备知识：地理的两极与地磁的两极并不完全重合。而郑复光并不知道这一点。

5.1.4.4　郑复光与法拉第的场论思想孰早孰晚

郑复光的地脉概念与法拉第的磁力线概念揭示了相同的物理内涵,而后者是场概念的先导。因此郑复光的地脉说无疑较元气说具有更明确的场的意义。那么两人是谁更早具有了场的思想呢?郑复光出生于1780年,法拉第出生于1791年。前面说过法拉第最早于1831年即使用了磁力线的概念,但郑复光的《费隐与知录》始作于1816年,至1842年才得以刊行。我们很难知道郑复光是否于1831年以前即产生了地脉说思想,因此场思想的"优先权"问题似乎难以裁决。然而从科学思想史的角度我们还是可以给出一个推断。

从本质上讲古典原子论与经典场论是不相容的。存在最小的不可再分的物质基质即原子是古典原子论的最根本的信条。因此原子论从一诞生必定只承认一个离散化的量子世界,而经典场论的最大特征是认同连续性。1837年以前法拉第一直是一个牛顿和道尔顿原子论的忠实拥护者,自1837年起,他陷入病痛之中,直至1844年很少工作。此间,他反复反思原子论,1844年明确表示反对牛顿和道尔顿的原子论,阎康年先生指出:"只有这种变革才能使法拉第从相信道尔顿原子论开始,转而从力场概念转向实体场概念。"[18]"他在1845年11月7日的日记中,首次提出'磁场'一词。这个过程表明,法拉第抛弃传统的原子论,在观念和实验上为场概念的形成创造了条件。"[18]在以原子论占主导的西方科学范式下,法拉第这一思想转变是不可避免的,只有完成了这一转变,他才能建立起在基础上自洽的场论。然而在东方,郑复光的地脉说是建立在元气、脉络学说之上的。而中国的元气论中的元气本身就是充虚贯实,绝对连续的。如王夫之所说:"太虚之为体,气也,……充周无间者皆气也。""阴阳二气充满太虚,此外更无它物,亦无间隙"(《张子正蒙注·太和》)。王廷相也说:"元气混涵,清虚无间。"(《慎言·道体》)。因此郑复光面前没有难以逾越的离散性的本体论鸿沟。从这个意义上看,郑复光的地脉说一开始就满足连续性的场的特点,从这角度来说郑复光的地脉说就更早接近了场论的思想。

如果持谨慎的态度认为还不能十分肯定这一推断,退一万步,至少有一点可以肯定,那就是郑复光没有受过法拉第思想的影响。因为"在郑复光所处的时代,清朝政府长期闭关锁国,西方科学的传入已中断100多年。"[21]

在郑复光的著作中可以看出他对中国的元气说还是十分钟情的,但在解释地磁力的作用时,他没有简单借用元气论笼统解释,而是悟出了看不见摸不到的一根根能"牵掣"铁针的地脉的存在,十分难得。这既需要对中国古代的元气论、经络说等有深刻的把握还要借助高度的抽象思维与创新。郑复光的地脉说与法拉第的力线、电场和磁场思想貌异而神合,说郑复光是中国第一个具有近代物理场论思想的人并不为过。

回过头来再看本文开始处引用的李约瑟先生的那一推测,要使之变为现实,在郑复光关于地磁的地脉说基础上,还欠缺两个必要的直接先决条件,一个是要有奥斯特、法拉第等人的大量实际研究,再一个是需要产生麦克斯韦那样极富数学功力,能看出场论隐含的数学结构、又具备牛顿那样高度综合归纳能力的物理大师。而这两点,总体上看恰恰是中国文化中比较欠缺而且相互间结合得非常不够的。因此这一推测要变成现实,不仅需要适当的外部环境,从科学内部看,也存在巨大的障碍。

参 考 文 献

[1]林德宏. 科技巨著. 第九卷(20). 北京: 中国青年出版社, 2000.

[2]杨仲耆,申先甲. 物理学思想史. 长沙:湖南教育出版社, 1993.

[3]何祚庥. 元气新解. 科学史文集第12辑. 上海:上海科学技术出版社, 1984.

[4]朱熹. 朱子语类.

[5](宋)《陈旉农书》(卷上).《财力之宜编第一》,《粪田之宜编第七》.

[6](晋)张华.《博物志·卷一》.

[7]商宏宽. 华夏地舆观及其对当代地学之影响. 宋正海, 孙关龙. 中国传统文化与现代科学技术. 杭州:浙江教育出版社, 1991.

[8]席泽宗. 中国科学技术史·科学思想卷. 北京:科学出版社, 2001.

[9](明)方以智.《物理小识·卷二:地类·阳气生地脉》.

[10]刘秉正.我国古代关于磁现象的发现. 物理通报, 1956,8:458~462.

[11]刘秉正,司南新释. 东北师范大学学报(自然科学版), 1986,1:35~43.

[12](宋)沈括.《梦溪笔谈·补笔谈卷三· 杂志》.

[13](宋)沈括.《梦溪笔谈·卷二十四· 杂志》.

[14](明)方以智.《物理小识·卷一:器用类·指南说》.

[15]戴念祖.中国科学技术史·物理学卷.北京:科学出版社, 2001.

[16]张之翔. 法拉第和他对电磁学的伟大贡献(下). 物理通报, 1991, 9:36;37.

[17]谢邦同. 世界经典物理学史. 沈阳:辽宁教育出版社, 1988.

[18]阎康年.法拉第原子论观点的转变与场概念的起源. 物理, 1991,12:750;754.

[19]麦克斯韦著,戈革译. 电磁通论(下).武汉:武汉出版社, 1994.

[20](美)威·弗·马吉编, 蔡宾牟译. 物理学原著选读. 北京:商务印书馆, 1986.

[21]石云里.郑复光著《镜镜诊痴》. 张秉伦,汪泗淇,张朝胜. 科技集粹——安徽重要历史事件丛书. 合肥:安徽人民出版社,1999.

5.1.5 热学知识

在西方物理学译成中文的早期,曾有将热学译为火学的先例。

火无疑是古人加热时最常用的热源,而人工取火方法的成熟则是人类真正控制掌握了火这一自然力的标志。

摩擦取火可能曾是古人最普遍的取火方法,《管子》中有"钻燧取火"之说。再如《庄子·外物》中说:"木与木相摩则燃,金与火相守则流……"。韩非子的《五蠹》中也说:"民食果、蓏、蚌、蛤,腥臊恶臭而伤腹胃,民多疾病。有圣人作钻燧取火以化腥臊,而民悦之,使王天下,号之曰燧人氏。"

恩格斯则说:"摩擦生火第一次使人支配了一种自然力,从而最终把人与动物界分开。"(《反杜林论》,112页)认为这是"人类对自然界的第一个伟大胜利……""甚至可以把这种发现看做人类历史的开端。(《自然辩证法》91、92页)在继钻木取火之后,中国古人发明了另外一种取火工具——阳燧。这是在中国科技文化中很重要的一个器具。阳燧,就是铜制凹面镜,太阳光经其会聚,在焦点处可点燃火种。如《周礼》说:"司烜氏掌以夫燧,取明火于日。"《礼记内则疏》中则有:"左佩金燧,右佩木燧," "晴则以金燧取火于日;阴则以木燧钻火也。"可见那时的人们统称取火用具为燧,并将取火于日与钻木取火法配合使用。然而大家知道中国早期古铜镜都是平面镜。古人怎么会灵机一动想到制造凹面镜并用以直接取火于日呢?原始资料无处可寻,这一问题也曾引起过古人的思索。如南宋吴曾曾引《淮南子》说:"'阳燧见日,则然而为火'注曰:'阳燧,金也。取金杯无缘者,熟

摩令热,日下以艾承之。'"(《能改斋漫录》)古人把玩金杯而偶见其聚光,受启发而开始造凹面镜的可能性是存在的。不过古人认为金杯能取火取决于"熟摩令热"是不正确的,而应该是熟摩令光而有更好的反光作用,不过"熟摩令热"可能已达到了"熟摩令光"之效果。

可以说中国古代的热学就是阴阳学,阳即热,阴即冷。而阴阳学说只有与元气说结合起来才更方便说明物理现象。阳气即温热之气,阴气即寒冷之气。王充在《论衡·寒温》中说:"夫近水则寒,近火则温,远之渐微。何则? 令之所加,远近有差也。""火与温气同,水与寒气类。"《淮南子·天文训》说:"积阳之热气生火,火气之精者为日;积阴之寒气为水,水气之精者为月。"唐柳宗元《天说》认为:"寒而暑者,世谓之阴阳。"元代赵友钦在《革象新书》中 :"阳气积多而暑,""阴气积多而寒。"这种冷热本质说完全可以看成是双流体(冷与热)之热质说。如《关尹子》写道:"日寒暑温凉之变,如瓦石之类,置之火则热,置之水则寒,……特因外物有来有去,而彼瓦石实无去来。"再如北齐刘昼说:"金性苞水,木性藏火,故炼金则水出,钻木则生火。"

在阴阳学说的指导下,中国古人也提出了一些反常规的观点,如"夏造冰"。

最早记载"夏造冰"的文献是《庄子·徐无鬼》:"……其弟子曰:'吾得夫子之道矣,吾能……夏造冰矣!'"

《关尹子·七釜》也说:"人之力可以夺天地造化者,如冬起雷,夏造冰。"

唐《意林》引《淮南万毕术》注曰:"取沸汤置瓮中,密以新缣,沈(井)中三日成冰。"这是目前所知的关于"夏造冰"法最详细的记载。

宋代苏轼的《物类相感志·总论》也有简单记述:"夏月热汤人井成冰。"

至明末,方以智在《物理小识》中关于作冰法是这样叙说的:"万毕术有凝水石作冰法,陈眉公言以水晶煮水,入井得冰。智按其理,不必凝水石与水晶也。凡瓶水煮之极沸即坠入井底则六月亦能成冰。"

古人造冰法的理由是什么呢?

本书作者认为《淮南子》可以给我们一个说法。《淮南子·览冥训》说:"故至阴飂飂,至阳赫赫,两者交接成和而万物生焉。众雄无雌,又何化之所能造乎……是谓坐驰陆沉,昼冥宵明,以冬铄胶,以夏造冰。"可见阴阳"两者交接成和而万物生焉"就是古人夏造冰的"原理"。

大量文献言之凿凿,看出古人真的相信按这种原理、这种方法能够在夏天造出冰,然而根据本人的研究这种夏造冰是不会成功的。(见后面相关专题研究内容)。

除以阴阳学说解释冷热现象外,中国古人也有自己的热动说。

如《山海经·海外北经》说:"钟山之神,……吹为冬,呼为夏。"虽是神话却与中国古人的热动说具有相同的机制。

汉代高诱注《淮南子》也说:"……吹为冬,呼为夏。"

与他们相近,汉代张升在《反论》中说:"嘘枯则冬荣,吹生则夏落。"

《关尹子》中也有:"……呵之即温,吹之即凉……"的说法。

至唐代,柳宗元在《天对》中说:"吁炎吹冷,交错而动。"

至宋代,朱熹说:"嘘则为温,吸则为寒耳。"(《朱子语类》)

苏轼也说:"嘘之气,温然而湿,……噏之气,冷然而为燥。"(《苏东坡集》)

南宋杨万里也说:"炎者,元气之吁也,冷者,元气之吹也。"(《诚斋集》)

可见中国古代热动说的本质是认为冷或热的产生取决于使元气运动的不同方式:吹(吸、噏)。或呼(嘘、呵、吁)。这种热动说与反映热的本质的热动说有本质区别的。在后者看来,热运动是物体分子的无规则运动,这种运动越剧烈温度越高。

5.1.6 中国古代物理学及其发展的特点

在"历史上阻碍中国科技发展的因素"一节,我们将深入探讨阻碍在中国发生以物理学为主体的近代科学的社会及文化诸方面的原因。从以上简述的中国古代物理学发展脉络上,我们不难看出中国古代物理学发展的如下特点。

总体看来,似乎正如戴念祖先生所言:"它的发展是持续的。"不像西方的物理学,有古希腊的繁盛也有中世纪漫长的沉寂以及文艺复兴后的一尘崛起。

然而,这种持续,与其说是发展的持续不如说在中国历史上有些有价值的物理知识还能够借助于典籍得以保存下来,而不像西方人曾经将古希腊的科学及文化曾统统丧失殆尽而依靠外族阿拉伯世界后来才得以复兴。事实上纵观历史,中国古代物理学有明显停滞不前甚至倒退的倾向,偶尔的、些许的进步无法改变这整体格局。无论是对力的本质的认识、对运动的认识、对共鸣现象的认识、对热的本质的认识等等,很难看到秦汉以后的持续的明显的深化,更不要说产生科学进步所必需的革命性的科学概念。这种代代因袭相传的现象很难等价于持续发展。究其原因,用现在的话说,科学研究者、物理学研究者,在中国古代历史上没有形成真正意义前后相继的或超越时间意义上的科学共同体。可以想象在中国古代肯定很早就存在那种带有垄断、保密性质的非文字的科学知识传承方式,但这种方式极易导致失传。能够传承下来的思想主要还是依赖文字载体,而这就需要文化人(知识分子或士绅)参与。但这往往不是他们的"专业"工作。因此科学思想得以延续可以说完全是个人爱好行为。这种现象当然是由社会对科学的态度或科学的社会地位决定的。在古代中国,被社会认同的知识阶层的第一选择从来不曾是从事科学活动。从这个角度看,所谓中国古代物理学的持续发展只是一个假象,实际上是后劲不足,后继者的出现具有极大的随机性、不确定性。具有科学精神的墨家,作为一个学派可以消亡,象元代赵友钦那样对小孔成像研究所体现出来的典型的科学实验方法也只能是昙花一现。中国古代的社会制度决定它"优选"出的主流文化是儒家文化。而儒家文化之主体精神是关心人事,这在孔夫子那里就表达得十分清楚:"天何言哉! 四时行焉,万物生焉,天何言哉!"(《论语》)。近些年,有人提出儒家对中国科技发展有积极因素。理由是至少儒家未像西方宗教那样明确反科学。作为社会主流文化,不反对就可以称为积极,此言大谬。设想一下,如果墨家思想在中国古代成为主流文化,他们对科学的发展会是什么影响? 那将是积极的参与,直接的贡献! 总之,由统治者确立地位的儒家的以治国、平天下为最高目标的为政治服务的主张决定在较低生产力下的中国封建社会,物理学难登大雅之堂。

在这种大形势、大背景下,从事一定物理学研究或对其感兴趣的人不是多数学而优则仕的有闲的儒者而多是落魄的民间读书人或者是宗教人士(包括爱好者)。虽然儒家也讲格物致知,"但是传统的中国教育并不重视真正的格物致知。这可能是因为传统教育的目的并不是寻求新知识,而是适应一个固定的社会制度。《大学》本身就说,格物致知的目的,是使人能达到诚意、修身、齐家、治国……从而追求儒家的最高理想———平天下。因为这样,格物致知的真正意义被埋没了。"(丁肇中语)。象王阳明那样把探察外界误以为

探讨自己的儒家通病决定了他们的智慧在格物时多流于心想与顿悟，而以求神仙务长生之道为宗旨的道家更不能在理论上超脱玄想的羁绊。因此中国古代占主导地位的自然观或物理学的理论要么缺乏要么太过高妙，与实际经验技术之间距离过大，联系不够紧密，看似对一切现象均可笼统解释，然而多不中肯綮，不利于实证，没有多少真正的指导意义。

5.2 中国古代大物理理论

不可否认，尽管中国古人积累了大量的物理知识，尽管在技术上有过出神入化的应用，但中国古代没有系统的完备的物理理论，比如牛顿力学体系未曾出现。

但是这并不意味着中国古人不需要对物理现象做出解释和理解。中国古人解释物理现象的主要理论也是主要的思维模式就是元气说、阴阳说和五行说。这三个学说不仅被中国古人用以解释自然现象，也用以解释包括社会现象在内的一切现象。因为在中国古代一切现象都蕴含于如方以智所说的大物理之中，因此，我们称这些理论为中国古代大物理理论。

5.2.1 元气说

最早用气的概念解释自然现象的据目前所知要数西周末年的伯阳父了。据《国语·周语》记载，他在解释地震现象时说："夫天地之气，不失其序。若过其序……阳伏而不能出，阴迫而不能蒸，于是有地震。"有文献可查战国时道家著作《鹖冠子》中已有元气概念："精微者，天地之始也。……故天地成于元气，万物乘于天地。"

由《说文》关于云、雾、烟、气的解释我们可以看出产生气概念的感性的物质的基础。

云："云，山川气也。"

雾："地气发，天不应"。

烟："火气也。"

气："气，云气也。象形。凡气之属皆从气。"

古代中国人正是在反复观察云烟雾霭的基础上，由这种流体的感性特征升华概括出气的概念。早期气也称为精气或精，汉唐多称元气，自唐以降，往往又简称为气。

气之精微多变特性引起了古代中国人的充分注意，并逐渐将万物终极本原的内涵赋予了它。如《鹖冠子》所说："天地成于元气。"

再如《管子·内业》说："凡物之精，此则为生。下生五谷，上为列星。"《庄子·知北游》也说："人之生，气之聚也。聚则为生，散则为死。……通天下一气耳。"

而《荀子·王制》洞察到："水火有气而无生，草木有生而无知，禽兽有知而无义；人有气、有生、有知而且有义，故最为天下贵也。"可见在荀子看来，水火、草木、禽兽与人类仍然是有共性的即都"有气"。类似文献还有许多：

汉代王充的《论衡·谈天》说："天地，含气之自然也。"

《论衡·四纬》说："元气，天地之精微也。"

《论衡·言毒》说："万物之生，皆禀元气。"

唐代柳宗元《天对》说："庞昧草化，唯元气存。"

宋代张载《正蒙·太和》说："太虚即气"，"太虚无形，气之本体。"

宋代《二程遗书》卷五说："万物之始，皆气化。"

宋代朱熹《朱子遗书》说："天地之间，一气而已。"

明代王廷相的《雅述》上编说："元气之上无物……"

王廷相《王氏家藏集》卷二十七说："天地未判之前，只有一气而已。一气中即有阴阳，……二者离之不可得。"

明末方以智《物理小识·气论》："世惟执形以为见，而气则微矣。然冬呵出口，其气如烟……考钟伐鼓，窗棂之纸皆动，则气之为质，固可见也。充一切虚，贯一切实，更何疑焉！"

既然认为气是物之本，那么中国古人以气论来解释物理现象就再自然不过。除西周伯阳父以气之运动解释地震外，在中国古代典籍中气论的其他应用也比比皆是。在声学方面，汉代王充基本上认为"气括口喉"而发声。明代宋应星明确认为气"具生声之理"。而汉代董仲舒在《春秋繁露》中已用："气同则会，声比则应"来解释声音的共鸣。

在电磁方面，《淮南子》说："电，激气也。"王充在《论衡》中则提出了"气性异殊，不能相感"的思想。在热学方面，中国古人认为有冷与热就是因为有阴气与阳气之故。除此还有立足于元气说的"吁炎吹冷"的"热动说"。中国古人认为元气还具有不可思议的动力学作用。如《黄帝内经·五运行大论编》说："帝曰：'地之为下否乎？'歧伯曰：'地为人之下，太虚之中者也'。帝曰：'冯乎？歧伯曰：'大气举也'。"

宋代朱熹，以气为本原提出了具有一定动力学机制的天地生成说："天地初间，只是阴阳二气，这一个气运行，磨来磨去，磨得急了，便拶得许多渣滓，里面无出处，便结个地在中央。气之清者便为天、为日、为星辰，只在外常周运转。地便在中央不动，于是在下。"（见李光地编：《朱子全书·理气一·天地》）。在《楚辞集注》中他又说："地则气之渣滓，聚成形质者，但以其束于劲风旋转之中，故得以兀然浮空，甚久而不坠耳。"

对于中国古代元气说学术界一向是给予高度评价的。李约瑟认为："元气，像现代人心目中以太波或辐射线。"（见 Joseph Needham: Science and Civilisation in China [J]. Cambridge Press，Vol. Ⅱ，1962，472）

何炳郁先生说："气的本义是空气，气体或蒸气，但中国古代所说的'气'，使人联想现代科学中的物质能量；""从杞人忧天的故事看来，'气'是构成宇宙间一切天体的物质能量。"（见杨仲耆，申先甲：《物理学思想史》，湖南教育出版社）。何祚庥先生则认为气"与其说是接近于以太，不如说更接近于现代科学所说的场"，"元气学说……是现代量子场论的滥觞"。（同上）。

虽然气的概念之产生有一定的物质基础也被中国古人用来解释自然现象，但在中国的文化中，气更多地成为了自然哲学层次的概念而不是物理学层次的概念。一方面有人指出"绵延数千年之久的气概念，始终未升华为哲学'纯粹概念'，始终未获得'绝对的纯粹形式'，充其量只能算是一个'前哲学概念'"。（曾振宇："气"作为哲学概念如何可能，《中国文化研究》，2002 年冬之卷）另一方面虽然古人谈论的气也包括空气，但还是不难看出，中国古代的气或元气远远超出了空气的内涵，这两者是有很大区别的。仔细分析两种气概念可以发现它们甚至是相互矛盾的，如朱熹说："天地之气刚，故不论甚物事皆透过"（《朱子语类》），那么何以在人体内气又独能运行于脉络中呢？所以说一方面，中国古代的气概念因为在理论上要泛化而更多脱离了自然存在的一种物质形态的范畴，另一方面在

抽象程度上又没能达到哲学的高度。在具体运用中气的内涵也是可以在抽象的元气与具体的空气间漂移。以往的学者充分强调和肯定了元气说或气论的重要意义,遗憾的是未能指出气概念的混乱性。正由于元气说更多地体现的是超乎气体的含义,所以虽然中国古人认识到了"气是天地之本,万物之源"、"气精细无形,微不可察"、"气充虚贯实,绝对连续"、"气运动不息,变化不止"、"气不生不灭,永恒存在"、"气是万物中介,传递相互作用"等属性(胡化凯:中国古代"气的基本属性探讨《自然辩证法通讯》,2003、2期),但总地来说在物理方面对气的认识则较为肤浅。再由于元气说本身具有难以把握、不易实证以及极难量化研究等特点,因而极易流于模糊、笼统。事实上元气说也多被附以神秘色彩,往往终结于玄虚的结局。虽然《关尹子》和《素问论》中有关于大气压存在的认识和解释,但在中国古代的气论中不占主导。因此,尽管中国古人重视气论,但到近代在对气体及空气的认识这一方面已远远落后了。在西方,拉瓦锡在玻义耳等人实验基础上,自己进一步经过实验研究,1775年5月宣布空气中有"可供呼吸的部分",1780年他在《燃烧通论》一书中系统地提出了氧化学说。中国的郑复光在62年后即1842年刊行了《费隐与知录》一书,书中有这样一节:"人潜水底恃能换气"。其中提出问题:既然"水不藏气",那么鱼为什么畅游自如呢?郑复光解释说:"其气必藏鱼泡中,与水推攘虽有呼吸其气不出于口。"又说:"曾见兵法家言水师用水银作一弯环之管,一端衔口内一端两岐入鼻。意以气出口则入鼻周流以当呼吸然。"虽然在书中他说这种办法"恐难用"而又设计了一方案,但他并不反对这种观点:无论人还是鱼,只要鼻口或鱼泡之中有气即行,因此只要设计周密使气不外逸,仅凭一点点气的反复循环不止地利用即可满足生理需要。显然郑复光对氧化学说一无所知,对空气的成分以及呼吸时气的作用还不了解,他对气还停留较低级的认识水平,或者说他的知识结构决定了他不可能将科学的气概念与哲学意义上的气概念明确做出区分。

5.2.2 阴阳说

中国学术界认为,阴阳概念源起于古人对地势的向阳与背阴的认识。如《诗经·大雅·公刘》编所说:"笃公刘,既溥既长,既景迺冈,相其阴阳,观其流泉……"。阴阳即指向阳的南麓和背阴的北麓。

对阴阳的这种原始认识在周朝迅速泛化概念化,如《老子》说:"万物负阴而抱阳"。周代人还开始用阴阳概念解释自然现象,如伯阳父将地震成因归于"阳伏而不能出,阴迫而不能蒸。"阴阳学说是对世界认识的一种二分法,阴与阳正是对天地、男女、昼夜、炎凉、快慢、上下、前后、内外等等二分法的一种高度抽象与概括。

阴阳学说与元气说经常被中国古人交织在一起使用。元气说虽有其无所不包优点长处,但在解释万物运动变化的原因时,没有阴阳学说直接。二者结合的产物是人们认为,气有阴气与阳气之分。在中国古代对事物变化的重视远远胜过对机械运动的重视。而事物变化、演化之原因,就是建立在阴阳学说之上的感应论。早期人们认为"同声相应,同气相求。"(《周易·文言》)。"类同相召、气同则合,声比则应。"(《吕氏春秋·召类》)。《淮南子》说得更加清楚:"物类相动,本标相应,故阳燧见日则然为火,方诸见月则津而为水。"(《天文训》)、"阳燧取火于日,方诸取露于月,……阴阳同气相动也。"(《览冥训》)。对于电磁作用现象也予以相似解释,如王充在《论衡》中说:"顿牟掇芥,磁石引针,皆以其真是,不

假他类。他类肖似,不能掇取者,何也? 气性异殊,不能相感动也。"明代王廷相则说:"气以虚通,类同则感,譬之磁石引针,隔关潜达。"(《雅述》)。

中国古人随对自然认识的拓展,对阴与阳的作用条件的认识也有所改变。自汉以上,多认为同类同气相互之间才感受应作用,如《庄子·徐无鬼》所说:"以阳召阳,以阴召阴"。汉以降则对此条件有所突破。如孔颖达指出:"非唯同类相感,亦有异类相感者。"(《周易正义·乾卦》)。张载也曾说:"感之道不一,或以同相感,……或以异而感。"(《横渠易说·咸》)

中国古人对阴阳本身关系的认识也越来越复杂。早期有辩证的阴阳关,如范蠡就说过:"阳至而阴,阴至而阳。"(《国语·越语》)。在《黄帝内经》及其后的医学著作中,又细化有"阴中之阴"、"阴中之阳",以及"阳中之阳"与"阳中之阴"等等。

《周易》是以阴(阴爻—)、阳(阳爻—)为基本单位而形成的一种对事物的理论性把握。阴与阳三单位的不同组合形成八卦,将八卦中之任意两卦叠合即形成六十四卦。在易学中,事物的性质即由阴与阳所占整体成分之多少及阴阳空间相对位置关系所决定。

中国古人以阴阳诠释自然现象时认识到阴与阳常常并存才能有所作用。如:"横渠张子曰:'阴气凝聚,阳在外者不得人则周旋不舍而为风。'"(王三聘:《古今事物考》)

明代王廷相说:"天地未判之前,只有一气而已。一气中即有阴阳。如能动荡处便是阳,其葱苍……之可象处便是阴,二者离这不可得。"(《王氏家藏集》卷二十七)

5.2.3 五行说

关于五行学说的提出时间是有争议的。中国科学技术大学胡化凯教授认为:"五行观念的形成时间不会早于商代则是可以肯定的。因为在此之前,金属的使用尚未达到影响人们社会意识的重要程度。"(胡化凯:《五行起源新探》,安徽史学,1997 年 1 期)

一般认为水火木金土五行说最早见于《尚书·洪范》(约为战国初作品):"五行:一曰水,二曰火,三曰木,四曰金,五曰土。水曰润下,火曰炎上,木曰曲直,金曰从革作辛,稼穑作甘。"至周幽王时(公元前 774 年),史伯已有:"……以土与金、木、水、火杂以成百物"的五元素思想。

至公元前 511 年,《左传·昭公三十一年》中记载了史墨"火胜金"的思想。这后来进一步成为五行相胜(克)论:火克金、金克木、木克土、土克水。另外还有五行相生论:木生火,土生金,金生水,水生木。《孙子兵法·虚实》则提出了"五行无常胜"的观点。《墨经·经上》中进一步说明:"五行毋常胜,说在宜。"并解释说:"五,金水土火木离。火烁金,火多了;金靡炭,金多也……"。

五行说也与元气说有关联。五行由阴阳演化而来,金木水火土每"一行"又能生具有自己特性的气。如周敦颐在《太极图说》中说曾:"阴变阳和,而生水火木金土,五气顺布,四时行焉。"朱熹也说:"五行虽是质,他又有五行之气,……阴阳二气,截做这五个,不是阴阳外别有五行。"(《朱子语类》)。

因此,在中国古代以元气说为基础,佐以阴阳、五行说,相互协同形成了具有中国古代特点的对一切现象均可予以诠释的"大统一论"。

5.3 历史上阻碍中国科技发展因素之透视

科技史的研究得出结论：中国在16、17世纪前，科技水平是领先于欧洲的。但是到了16、17世纪，欧洲诞生了以物理学为根本的近代科学，从此中国的科学始落后于西方。原因何在？很少有哪个问题能够像这个问题这样吸引中外众多学者的关心并形成百家争鸣的态势。下面首先将前人对这一问题的观点予以总结，然后从系统论角度，借助非平衡态物理的原理分析这一问题并给出结论。

5.3.1 诸家说法

5.3.1.1 数学缺乏说

德国哲学家及数学家莱布尼兹在1697年的《中国近事》一书中说："看来中国人缺乏心智的伟大之光，对证明的艺术一无所知，而满足于靠经验而获得的数学，如同我们的工匠所掌握的那种数学。"([1],59) 至于中国在科学方面没有达到极高的造诣，"简单的原因是，他们缺乏欧洲人的慧眼之一，即数学。"[1]爱因斯坦也曾说过："西方科学的发展是以两个伟大的成就为基础，那就是：希腊哲学家发明形式逻辑体系(在欧几里得几何学中)，以及通过系统的实验发现有可能找出因果关系(在文艺复兴时期)。在我看来，中国的贤哲没有走上这两步，……"[2]李约瑟同样认为"当自然科学与数学的融合成为普遍现象之后，自然科学才能成为全人类的共同财富。"但是他研究发现："中国数学思想基本是代数学思维模式而不是几何学式样的"([3],103) 而近代科学的发端恰赖于几何学，如牛顿"在写《数学原理》的时候他并没有用微积分，他证明每一个定理时用的都是几何的方法，跟欧几里得书里很相像。"([4],3)

5.3.1.2 文化制约说

美籍学者成中英认为："一门新的物理科学必须开始于一个新的数学创造，完成于一个新的逻辑的诞生。"([5],2) "我们甚至可主张，现代科学及因果律模型，都是西方形而上学与西方文明之主流的结晶" ([5],270) "犹太教及基督教传统的超绝神学，与德谟克利特原子论的机械式模型相辅相成，共同造就了作为现代科学的基础的因果律标准模型。……若没有这些文化传统作为科学知性的基础，西方科学就不可能产生。"([5],273)

然而在中国，宗教意识较为淡薄。取而代之的是"哲学在中国文化中所占的地位，历来可以与宗教与其他文化中的地位相比。在中国，哲学与知识分子人人有关。在旧时，一个人只要受教育，就是用哲学发蒙"([6],307) 而中国哲学的特点是"在表面上，中国哲学所注重的是社会，不是宇宙；是人伦日用，不是地狱天堂；是人的今生，不是人的来世"([6],313)

狄德罗在分析中国没有出现欧洲那样近代科学天才的原因时指出，主要在于东方精神的束缚。在他看来，东方精神趋于安宁怠惰，只囿于最切身的利益，对成俗不敢逾越，对事物缺乏热烈的渴求。而这一切恰恰与科学发展所需要的探索精神格格不入。历史上几个时期，东方文化熏陶下的中国人确实体现出了好静的性格，喜好坐而论道；西方人则好动，更偏于做而论道。

那么中国文化如何不利于近代科技的发展呢？《"阴阳五行说"对中国传统科学的负

面影响》一文的分析十分透彻。[7]"五行说"是满足相邻相生、隔一相克等循环性要求的所用元素最少的唯一体系,符合思维经济性原则。因此它极具涵盖力和包容性,对科学实践中认识的一切现象均可予以"解释",这是以它为核心的中国传统科学思想带有模糊性的内在原因。正因为它能解释一切,它也就阻碍了新的科学方法的诞生,并在一定程度上造成了中国传统科学思想方式带有满足于似是而非而不追根求源的缺陷。视这样的理论为终极真理,则中国古代文化人要做的也只有摆卦究玄坐而论道了。按波普尔的观点"阴阳五行说"算不上科学理论,因其不具备可证伪性。"'阴阳五行说'的巨大包容性对中国传统科学思想的影响,虽没有刀光剑影,没有流血牺牲,却把人们的思想局限在一个框子里,使人们自以为已经找到了真理,从而不再有进一步探索的念头。从这个意义上讲(与'宗教裁判所'压制科学相比)难说哪一个遗害更深"[7]。黄克孙先生从物理学家角度表示了他这方面的观点:"中国古代的技术,很多方面都超过了其他国家。我们有对自然现象的兴趣。从墨子的光学观察,到沈括对磁偏角的研究,都是实验物理的先河。宇宙观更是中国古代哲学家重视的题目。但是,由于实验和理论没有结合起来,技术的发展怎么也跳不出耳闻目睹的范围;对自然的观察只被人当作一种消遣;诸子百家的宇宙观不是幻想就是作为伦理政治思想的篱垛。在古代中国,经验和思维似乎是毫不相干的两回事。"[8]

5.3.1.3　语言决定论

在《风俗论》一书中,伏尔泰认为:"如果要问,中国既然不间断地致力于各种技艺和科学已有如此遥久的历史,为什么进步却微乎其微?这可能有两个原因:一是中国人对祖先流传下的东西有一种不可思议的崇敬心,认为一切古老的东西都尽善尽美;另一个原因在于他们的语言的性质——语言是一切知识的第一要素。"([1],187) 伏尔泰所说的第一原因,属于文化因素范畴。第二原因,则点出了语言问题。李约瑟将语言与原子论联系起来,给语言决定论作了极好的注解。从本质上可以说原子论的思维方式即近代科学化整为零的分析式的思维方式。"原子论是欧洲人和印度人推理的最为人熟悉的特征,虽然在不同时期某些中国思想家播下了它的种子,但这种思想从未在他们中间生根,因为它是与作为中国思想基础的有机论前提不相调和的。"([3],12~13)

"一个引人注意因而或许重要的事实是,所有发展了原子学说的文明所使用的语言都是拼音的。正如几乎无限变化的词可用相对少的字母以不同拼法所形成的那样,想出以数量很少的作为基础成分的微粒借不同方式结合而形成具有不同性质的大量物体的思想,就是十分自然的了。另一方面,中国的每个字都是一个有机整体,一个形体,而且习惯于象形文字语言的思维很难接受物质由原子组成的思想。"([3],27~28) 因为我们使用象形为主的汉字,因而难以确立原子论,进而难以形成近代科学的思维方式。这就是语言决定说的主要观点。

5.3.1.4　态度决定论

明末清初朝廷有个叫杨光先的遗老,他有句"名言":"宁可使中夏无好历法,不可使中夏有西洋人"。这个人死后近二百年还有人赞其曰:"正人心,息邪说,孟子之后,一人而已。"可见这期间中国学者大多从主观心理到客观事实都是抗拒西方新科技的。

清朝还有一种思潮即"西学中源"说,这是对待西方科技文化的变态心理的衍生物。如清代数学家梅文鼎就说整个几何学就是勾股术。康熙也说:"阿尔日巴拉即天元术。"所谓阿尔日巴拉即代数学。杨振宁认为,"以后整个清朝有些大学者如戴震、阮元等都继续

发挥'西学中源'说。由于他们的影响,使中国的学者在清朝三百年间没有真正吸取西方人的科技。……我认为,清朝的'西学中源'说产生了非常恶劣的影响。"([4],5) 时的中国已将汉唐时因强大自信心而展示出的对外来文化包容的大胸襟丧失殆尽。

5.3.1.5 墨家绝世说

在春秋战国时期的诸子百家中,墨家的学说在许多科学领域有相当大的贡献,如时空观如几何学如力学如原子论如光学等等。亡了墨家即除了科技的根基,因此有文献认为墨学终成绝世之学是近代科学没有在中国诞生的主要原因。这当然有其道理。然而儒家道家可流传至今,而当时的显学——墨学为什么会成为绝世之学呢? 一个原因是墨家宣传的非攻、兼爱、尚贤等主张在一定的社会背景下"有可能成为一种'令人生厌'的学说",即墨家中绝于世的"直接原因可能在于秦汉政权的镇压,但深层的原因却在于中国传统社会结构中统治阶级所进行的文化选择。"[9]

墨家中绝于世除外在因素外,也有其学派的内在原因。《庄子·天下第三十三》中说墨家:"不侈于后世,不靡于万物,不晖于数度,以绳墨自矫,而备世之急。古之道术有在于是者,墨翟,禽滑厘闻其风而说之。为之大过,已之大顺。……生不歌,死不服。墨子泛爱兼利而非斗,其道不怒。…天子棺椁七重,诸侯五重,大夫三重,士再重。今墨子独生不歌,死无服,桐棺三寸而无椁,以为法式。以此教人,恐不爱人;以此自行,固不爱已。……其生也勤,其死也薄,其道大觳。使人忧,使人悲,其行难为也。……天下不堪。墨子虽独能任,奈天下何! ……墨子真天下之好也,将求之不得也……"可见庄子已从墨家内部的纪律角度分析出了其必将绝于世的后果。

5.3.1.6 社会制度决定说

墨家中绝于世,已显示了社会制度的决定性作用,有些学者对此作了更深入探讨。

竺可桢先生在新中国诞生前就指出:"归根起来讲,中国农村社会的机构和封建思想,使中国古代不能产生自然科学。"[10]

任何新制度的诞生,在一定历史阶段内,总会显示出其积极的作用,封建制度亦然。正如戴念祖先生所说:"与其说春秋战国时期,中国的科学技术赶上或超过了古希腊,不如更确切地说,封建制度优胜于奴隶制度。以后,中国的科学技术达到了人类封建主义历史时期的最高峰,任何一个民族在封建时代的科学水平都不能和中华民族相比拟""人类历史上的第二次科学大飞跃是出现在文艺复兴运动时期……。"([11],158) 毛建儒认为近代西方数学进步的外在原因有两个:"第一,人类社会由农业社会进入工业社会,这发生在西方。…第二,力学发展迅速,并很快建立起理论体系。力学的发展与生产需要有关,主要与工业需要有关。"[12]其实早在1793年法国著名化学家拉瓦锡就说过:"应该把中国这个大国当作我们的教训:在那里,艺术与两千年前一模一样,因为政府的形式束缚了科学的天才,给工业设置了无法跨越的障碍。"([1],194) "从历史上看,统治中国最久的政治是封建专制的官僚统治,它是官僚主义发展的顶峰,是科学赖以繁荣的民主制度的死敌。"([11],162)

5.3.1.7 地理位置决定论

英国哲学家休谟在其《论文集》中认为,没有什么能比若干邻近而独立的国家,通过贸易和政策联合在一起,更有利于提高教养和学问。中国恰恰在这一方面有很大的缺陷,从而使原来可能发展出更完善和更完备的教养和科学,在许多世纪的进程中,收获甚微。从

外部来说，其原因在于没有更多的外贸对象。但从内部说，是由于中国处于一大位的状态之下，说一种语言，在一种法律统治下，赞成相同的生活方式；对权威的宣传和敬畏，造成了勇气的丧失。([1],189)

耶稣会士巴多明认为使中国科学停滞不前的原因之一"就是里里外外没有刺激与竞争。假如中国邻帮有一个独立的王国，它研究科学，它的学者能够揭露中国人在天文学中的错误，中国人也许可以从他们的昏昏欲睡中醒来，皇帝变得关注推动这门科学的进步……"([1],182)

5.3.2　系统论分析

关于中国近代科技落后原因的分析，还有更多说法。在这众多说法中耶稣会士巴多明早在1730年的分析比较全面，除上文提到的外且不说其他具体论述，单就他认识到：在中国，"许多原因会合在一道起阻碍的作用，使科学至今不能得到应有的进步"([1],180)这一点，就足以给我们以很大的启发。中国明清科技落后的史实，不是一个简单的因果链下的必然，没有简单的唯一的原因。科技事业是一项庞大系统工程，对其必须做系统论方法的分析。所谓系统论方法，就是依照事物本身的系统性把对象放在系统的形式中加以考察的一种方法。即从系统的观点出发，着重从整体与部分之间；整体与外部环境的相互关系、相互作用、相互制约的关系中综合地精确地考察对象。就科技事业而言，经济、政治、文化教育等都是其发展的外部环境要素，科技同它们有或强或弱或紧或松的联系与作用。在明清以前，若说中国也存在数学、物理、农业、化学等较不系统的科技知识的话，它们之间的相互影响就是内因内部作用。那么"讨论我国近代科学落后的原因应从那里入手？固然每个人都可以列举一些原因，甚至十几条，但是那些从自然条件、语言与思维方式、人的性格等方面寻找的原因是不能令人信服的；而有些原因又和其他学科的讨论成了'连环套'式的答案，如：科学不发达是因为没有逻辑；面哲学家说，中国逻辑贫乏是因为科学不发达。"([11],156)，认为这种讨论是"不切要害的"。

人类的科技活动是隶属于人类社会活动这一大系统的子系统。而在一定意义上人类社会的本质等价于人与自然、人与人、人与人脑的相互作用及人与时间关系的特征之总和。人类的科技活动，本质上是人与自然的关系。但思维的脑及思维过的脑(精神产品)对人的行为有巨大的作用，人的活动是有意识的有理性的活动，他的实践行为在大多数情况下都受到思维着的大脑的支配，而已形成的思维产品如科学理论、道德、法律、宗教信仰、文化、习俗等都通过思维着的大脑影响人的各种行为，包括人的科技行为。科技活动总是受到社会形态以及该社会所能给予的支持与限制的影响。因此分析各个领域各个方面对科技的影响都应该是有积极意义的。而所谓的"连环套"结论，则恰恰反映了科技活动受到外部"环境"的作用，而又反作用于外部"环境"，说明"系统"与"环境"，以及该系统内部诸子系统之间的作用是交互的，若为正反馈，就是积极的促进的，若是负反馈，则是消极的抑制的。也就是说，所谓"连环套"结果，正揭示了科技系统作用模式的内在机制。文化哲学过早地在春秋战国时期的"完善"成了作茧自缚，为科技进一步发展压上了沉重的精神负担，科学技术难有大的作为反过来很难对文化哲学的进步提供足够的促进，于是这二者相互作用的结果只能是近乎停滞不前；工业不发展就不会发现有意义的物理问题，进一步也就没了在解决物理问题时发现对数学的促进，反之数学的贫乏不利于物理的发展，

物理不发展不利于工业的进步,这又是一个停滞不前;如此等等。

系统方法强调系统是有层次的。在一般情况下,系统的功能处在支配的主要地位,而层次的功能则处于被支配地位。但是在一定条件下,个别层次的功能及其变化也会对系统的功能起主要的支配作用。同样道理,影响系统的外界环境因素的作用也是有主次的,但这种主次也不是绝对的。在一定的条件下,对特定系统,找到了主要功能单位、主要环境因素才能对它的行为得以正确分析研究并得出有益结论。我国物理学家罗辽复 1983 年在第 3 期《科学探索》上提出了层次假设:一般说来,对于一个包含若干层次的复杂自组织系统,高层次(例如细胞)的运动总是慢于低层次(例如分子)的运动,因此根据协同学伺服原理的精神可以认为,高层次的动力学变量控制着低层次变量的变化。这些道理都适用于科技系统。上面我们介绍了几种影响中国科技发展的方面性的说法。几种说法都有道理,但是对阻碍中国科技发展的结果而言,它们的作用又不是平权的。在特定历史时期某一方面可能突显得更重要。科技活动总是处于一定的社会演变过程之中,或说总发生在社会的大背景之下,用协同学的话讲,比较社会的演变和科技的发展,总的说来,社会演变是慢变量的。依据层次假设,社会运动是高层次的而科技活动是属于低层次的,前者控制着后者的变化。有了长期的农业国家的封建制度,才决定了哪些学说的兴与衰,即选择了其相应的文化,也进一步决定了对待科技的态度等等。至于环境等等外在因素,总要通过内因起作用,而好的内在机制是完全可以抵御或冲淡不良的外在影响的。

与西方科技的发展相比较,中国科技发展的特点之一就是总的来说具有发展的持续性。比如物理学它不像西方那样,经过古希腊时的大起,到中世纪的大落,再文艺复兴后的辉煌。这其实只能说明中国几千年主流社会对科技几乎一直缺乏应有的足够的重视。这就是中国近代科技落后的主要原因,也是封建制度下的必然结果。一件事物,竭力地遭到反对如西方中世纪的物理学与大力地得到支持如西方近代物理学,是得到重视的两个方面。唯有在几千年封建制度下的中国,科技事业几乎始终是“鸡肋”。巴多名分析制约中国科技进步的原因时说:“首先,凡是可能在此方面取得成功的人将得不到任何报偿。从历史上看,数学家的疏忽受到重罚,却无人见到他的勤劳受到奖赏,也无人见到他们因观察天象就可以免于贫困。……总而言之,它无足轻重,在那里无法有甚奢望。”([1],180) 不仅明清时期如此,李约瑟还发现:“足以令人奇怪的是,在明代以前似乎只能例外地发现某一重要工程师在工部中获得高级职务。这可能是由于真正的工作总是由文盲或半文盲的匠人和熟练的一批手艺人去做,他们从不能跨过在上述衙门中将他们与‘白领’的文人隔离开的鸿沟。最大的发明家无疑来自平民、匠师和手工业者,他们从不是官员,甚至连小官也不是……有时我们甚至找不到这类人的姓名,这种情况使人想到这些人是否接近于生活在半奴役状态下,而不习惯道出姓氏。”([3],113~114) “搞方伎,没出息”,是对科技活动在中国几千年历史上的地位的高度准确概括。

相反在 16、17 世纪的欧洲,提倡学术研究和尊重学者成为一种风尚。如 1705 年牛顿受到英国女王封为爵士,女王和王子特地步行到剑桥大学参加授爵典礼,以示重视。有人认为没有出现西方中世纪的黑暗是中国文明的福音,其实不然。正是中世纪长期的高压下的物极必反,社会的巨大需要以及人们逆反心理等的强烈反弹张力,成了培根、奥卡姆等人及其后人推动科技复兴发展的强大动力。这较之中国科技历来遭遇的吃不饱饿不死苟延残喘青黄不接难以维系要更具再生力。

历史告诉我们要科技持续良性发展，方方面面的重视，存在一个以科技文化治学为职业的社会阶层，并且他们享有较高的社会地位以及言论自由，是最最基本的条件。对科技史若干问题，有必要立足系统论甚至耗散结构理论、突变论、协同学及混沌理论等角度进行深入再分析，这样换个角度换个思考方法才会有新的认识得到新的透视效果。

参 考 文 献

[1]转引自 韩琦:《中国科学技术的西传及其影响》，石家庄：河北人民出版社，1999.

[2]许良英 范岱年编译．爱因斯坦文集．卷一，北京：商务印书馆，1976.

[3]潘吉星主编．李约瑟文集．天津：天津人民出版社，1998.

[4]杨振宁："近代科学进入中国之回顾与前瞻"[J]，《广西物理》，1995，No.5，6.

[5]成中英．论中西哲学精神．上海：东方出版中心，1998.

[6]陈来．中国哲学的精神——冯友兰集．上海：上海文艺出版社，1998.

[7]樊嘉禄："'阴阳五行说'对中国传统科学的负面影响"[C]，见宋正海、孙关龙主编《中国传统文化与现代科学技术》．杭州：浙江教育出版社，1991.

[8]黄克孙："物理学的教训"[J]，《自然杂志》，1979(12)：733.

[9]瞿杰全："墨家科学思想及其历史使命"[J]，《自然辩证法研究》，1995(1)：55.

[10]竺可桢："为什么中国古代没有产生自然科学"[J]，《科学》，1945(3)：137－141.

[11]戴念祖："谈中国近代科学技术落后的原因"[J]，《大自然探索》，1983(1)．

[12]毛建儒："对中国近代数学落后原因的分析"[J]，《自然辩证法研究》2001(12)：52.

（本文发表于2002年第3期《科学学研究》）

5.4　关于中国古代"夏造冰"是否成功之商榷

5.4.1　"夏造冰"

在我国的典籍文献中，很早就有"夏造冰"的记载。如《庄子·徐无鬼》中说："……其弟子曰：'吾得夫子之道矣，吾能……夏造冰矣'。"魏晋时代出的《关尹子·七釜编》中说："人之力可以夺天地造化者，如冬起雷，夏造冰。"类似说法，在汉、唐时期，直至明代都有文献记载。

从几乎历代不绝言之凿凿的有关"夏造冰"的记述中，不难看出，"夏造冰"曾是古代人在"科学技术"或学派思想或人与自然关系等方面的最高追求之一，甚至在一定时期成为确立人具有对自然的巨大的能动性思想的重要标准和依据。真有点类似今天一些人头脑中"高新技术"、"科技前沿"的味道。本文以为，即使古人能够"夏造冰"，"夏造冰"也绝非当时一般人都能掌握的易事。

那么，古人是如何实现"夏造冰"的呢？或者说，古人认为怎样才有可能"夏造冰"呢？"……这是中国古代物理学史工作者十分关心而又长期未得到解决的问题。"[1]西汉以淮南王刘安为首的淮南学派撰写的《淮南万毕术》（约成书于公元前2世纪）是为人们提供了"夏造冰"具体方法的最早文献。《淮南万毕术》已经失传，现存只有辑本。唐代的《意林》引《淮南万毕术》注曰[2]：

取沸汤置瓮中，密以新缣，沈（井）中三日成冰。

《淮南万毕术》之后的有关“夏造冰”之说，多与其一脉相承。正如中国科技大学李志超教授(以下简称“李”)所说：“此条为历代文人所喜用的典故。”[3]因此，分析《淮南万毕术》之“夏造冰”方法是否能造冰成功，这是一个相当重要的科学史问题。

5.4.2 洪震寰先生的研究

自20世纪80年代初洪震寰先生就对《淮南万毕术》中的物理知识进行了比较全面的研究。他认为《淮南万毕术》造冰法就现在看来，唯一可能的物理依据是随气压降低而水的冰点升高：“沸水置入瓶中，瓶口密封，沉入井水中，瓶内温度骤降，液面气压大减，瓶内水的冰点是随之提高的……”[1]然而减少1个大气压，水的冰点才提高约0.008℃。这可由克拉珀龙方程 $\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T}=\frac{L}{T(\upsilon^{\beta}-\upsilon^{\alpha})}$ 算出。

在1个大气压下水的冰点为 $T=273.15$ K，相变潜热为 $L=3.35\times10^{5}$ J/kg，水的比容 $\upsilon^{\alpha}=1.00013\times10^{-3}$ m³/kg，冰的比容为 $\upsilon^{\beta}=1.0907\times10^{-3}$ m³/kg。代入方程可得：

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p}=\frac{273.15\ K\times0.0906\times10^{-3}\ \mathrm{m^3/kg}}{3.35\times10^{5}\ \mathrm{J/kg}}$$
$$=0.00748\ \mathrm{K/atm}$$
$$\approx0.008\ \mathrm{K/atm}$$

在文献[1]中虽未有此计算，但显然洪先生知道这个规律，因面他做出结论：“气压影响冰点甚微，所以照《万毕术》的记载，是无论如何不可能结冰的。”[1]洪先生否定了依靠水的冰点随气压变化关系面实现“夏造冰”的可能性，亦即彻底否定《淮南万毕术》之“夏造冰”之说。文献[1]进一步指出：“《万毕术》可能就是根据这种不着边际的‘理论’(指阴阳学说，本文作者注)面设计出来的，当然只能是失败的。”[1]

洪先生对“夏造冰”研究的贡献之一是否定了依据水的冰点和气压的关系解释“夏造冰”的可能性；贡献之二是又唤起了科技史界对于这一古老问题的兴趣。

5.4.3 李志超教授及赵虹君对“夏造冰”的研究工作

李志超对《淮南万毕术》“夏造冰”记述的看法，未受洪先生的局限。他另辟蹊径，指出：“这里有气体绝热膨胀降温过程，也可以说是焦耳-汤姆孙效应在起作用。”[3]

赵虹君则指出了《淮南万毕术》造冰法中几个字的含义：“‘瓮’是一种盛水、酒等的容器；‘缣’是一种致密的布绢；(据《逸雅》释：缣，兼也。其丝细致，数兼于布绢也。细且致，不漏水也。)‘沸汤’即烧开的水；‘沈’能‘沉’。”[4]文献[4]还将“夏造冰”法与焦耳-汤姆逊效应实验进行了类比，认为：“‘瓮’就相当于绝热管L；‘缣’就相当于多孔塞H；焦耳-汤姆逊效应还有一个必要条件就是气压差。这里，我们的先人不可能用‘压缩机’，却聪明地采用沸水急骤冷却法来产生瓶内外的压强差，这真是出奇制胜的方法。”[4]

李更详尽的解释是：“一个细口大腹的瓶(瓮)，里面盛水不多，煮沸一段时间，令瓶的整体与水同温，水蒸气充满全瓶，原来的空气绝大部分被挤了出去，烧到水量所剩无几，立即用浸过水的细密的织物封口并沉入深井。在北方或高山区，盛夏天深井水也可在10℃以下。瓶子一凉，水汽凝结，瓶内气压大降，接近真空，待瓶温与井水近于平衡，立即取出，则缣开始透气(或因其上水膜晾开，或因外部压力作用)。这是减压膨胀，是吸热过程，瓶温因面下降。掌握得好，可以得到几丝冰渣，至少也可以使瓶内水温降到室温以下几

度。”[3]

在李的指导下,其学生赵虹君做了“模拟”实验:“取一升容量的玻璃球形瓶,内装少量水,用橡皮塞密封。塞上穿有玻璃管,其下端直到瓶底,瓶内放一支温度计。玻璃管外端用橡胶软管接上,较胶管上装一个可调松紧的夹子。”[3]

赵在实验中发现:将烧瓶中的水加热至沸腾,即迅速放入盛满水的水桶里,“几分钟内便由 99℃迅速降至 20℃左右。这以后,降温速度放慢……这时候,可以把烧瓶从水桶中拿出来放在空气中。……约经过几个小时,待烧瓶里温度计指示的温度与室温一致时(用另一温度计测得室温为 7.5℃,轻轻放开些调节夹,使得空气缓慢均匀流入瓶内。……直到温度计的指数稳定不变时,记下温度计的示数为 6.0℃。”[4]即水温降低了 1.5℃,但显然未能冻结成冰。

李认为模拟实验“原则上证明了:沸水密封冷却,然后缓慢放气可以得到低温。淮南书作者也许得到了冰,也许没有得到过……”[3]

李对《淮南万毕术》造冰之新诠释及与赵的实验,在科技史界产生了较大的影响,如重要文献[2]及文献[5]都收录或引用了这项研究工作的结论。

5.4.4　对“夏造冰”方法的进一步分析研究

李先生虽然未能断定《淮南子》学派是否真的曾造冰成功,但赵却十分肯定:“我们有理由认为淮南子的(原文如此,本文作者注)夏季的井水可以达 3～4℃。这样,如果‘瓮’很大,里面的水很少,密封也比较好且实验操作得当,则温度下降 3～4℃,达到结冰,还是完全可能的。”[4]但本文作者对李、赵的工作尤其赵的结论,有不同的看法。

5.4.4.1　《淮南万毕术》造冰法中气体的实际过程

文献[3]说:“这里有气体绝热膨胀降温过程,也可以说是焦耳-汤姆孙效应在起作用。”[3]实际上在空气由“缣”而入,膨胀之前,显然,“瓮”内真空度绝不会高;其二由于主观(下面会给予分析)及客观原因,《淮南子》学派不可能创造出近似理想绝热条件。因此说“这里有气体绝热膨胀”过程只能是一种猜想而已。

而说这里存在焦耳-汤姆孙效应,即这里有节流过程的说法,则相差更远。其他(如绝热情况)不谈,在前面提到的赵的实验比较中,忽略的重要的一点是节流过程不仅存在多孔塞两侧气体的压强差,而且要求存在稳定的压强差,即两侧气压各自稳定不变。而这一点在空气入瓶(或瓮)的过程中无论如何是绝对无法实现的。

比较而言将空气压入低压瓶内或瓮内空间过程看成气体绝热膨胀过程,在一定近似意义下还是可取的。

5.4.4.2　赵的模拟实验与《淮南万毕术》造冰法实验之不可比处

赵的实验有一细节值得注意:实验时室温为 7.5℃。将烧瓶从水中取出,则烧瓶直接与室内空气接触,故此必要假定空气的隔热性能良好,即空气无热传导和热辐射;压入瓶中的空气也是 7.5℃。这两点都是决定降温效果至关重要的因素,而在《淮南万毕术》造冰法中都难以实现。(请不要忘记:在《淮南子》学派难以实现的条件下,文献[4]也未成功造冰)。李建议《淮南子》学派造冰时,“待瓶温与水近于平衡,立即取出”。[3]而赵也说“不必太久,瓶温刚降到井水温度即提出”[4]无论“立即取出”还是“即提出”,均没说“取”“提”出至何处。但从字面理解即提至井口地而。真依此去做,《淮南子》学派必败无疑:不会收

到丝毫降温效果。既言“夏造冰”,地面空气温度为25℃绝不为过。而井里水温即瓶(或瓮)内水温依赵之说法“有理由认为……可以达3～4℃”[4],在提瓶(或瓮)过程中“缣”上水干,因此进入瓶(或瓮)的是25℃的热空气。由下文分析可知,25℃热空气进入后无论如何不会降至24℃以下。如此不低于24℃的空气能从3～4℃的水中吸热吗?显然不能,否则将违背热力学第二定律的克劳修斯表述。那么是否《淮南万毕术》中“沈(井)中三日成冰”可解决这一问题呢?否。从“淮南子”们的思想上看,他们所用之“瓮”,绝热效果不会良好。《淮南子·览冥训》说:“故至阴飂飂,至阳赫赫,两者交接成和而万物生焉。众雄而无雌,又何化之所能造乎!所谓不言之辩,不道之道也。……故却走马以粪,而车轨不接于远方之外,是谓坐驰陆沉,昼冥宵明,以冬铄胶,以夏造冰。”可见“夏造冰”之“理论”根据就是令“至阴”(井水)与“至阳”(沸水)“交接成和”而生冰。有这样的思想基础,《淮南子》学派不会在绝热性能上下功夫,反而可能会在“交接”上下功夫。至于用“缣”,是取其阻水直入之性能,而非出于绝热之目的。而在绝热条件不良的情况下,即使“沈(井)中三日”,即使与水温相近之低温空气压入,其微小的降温所导致的吸热也不能仅仅由瓮内之水独自承受,其效果如同焦耳的气体自由膨胀实验,几近乎零。这样讲并非无稽之谈。实验表明气体的内能 U 与压强 P 及温度 T 的关系[6]为:

$$U(P,T)=f(T)P+g(T)=g(T)[1+\frac{f(T)}{g(T)}P]$$

对空气而言,在1 atm,0℃的标准状态下,其中 $f(T)/g(T)$ 为 10^{-3}/atm数量级。因此不作特别严格要求,把空气看做理想气体,已是很好的近似了。只有温度较0℃再低,近似程度才会被破坏。因此对温度在3～4℃的空气这种近似是有保证的。而对于理想气体,$j=(\frac{\partial T}{\partial V})_u=0$ 温度不随体积的变化而变化。即使将空气不看成理想气体,显然这种因体积或压强的变化而导致的温度变化也小得可怜,由此而造成的影响在绝热条件不良的情况下,怎么能明显以至令水成冰呢?

5.4.4.3 文献[3]量化不够是问题的关键

由于文献[3]的分析中缺乏足够的量化处理,更多地依靠定性说明使得最终研究结果不可能十分确定。如只能说:“淮南书作者也许得到了冰,也许没有得到过……”[3],而且也有不正确说法,如“这是减压膨胀,是吸热过程……”[3]。减压过程一般是降温过程,但仅仅因为存在微量的气体减压过程,就断定它一定是从低温水中的一个吸热过程,且“掌握得好,可以得到几丝冰渣,至少也可以使瓶内水温降到室温以下几度”[3],这在逻辑上在物理上都是欠妥的。这无异于说今天40℃,明天38℃,气温降低,因此,明天就有人会被冻伤,甚至冻僵。量化是判定造冰真伪的关键,反映事实的正确数据才有说服力。

5.4.4.4 低压差下的绝热膨胀和节流过程的降温效果

空气绝热自由膨胀在低压差下效果微弱,从焦耳1845年的实验中即可看出。通过理论分析也能说明这种情况下的降温效果微弱,近乎不能观测。

令气体自由膨胀中描述温度随体积变化的焦耳系数以 j 表示,则有:

$$j=(\frac{\partial T}{\partial V})U=-\frac{1}{C_V}(\frac{\partial U}{\partial V})=\frac{1}{C_V}[P-T(\frac{\partial P}{\partial T})_V]=-\frac{1}{C_V}[\frac{T^2}{V}(\frac{\partial}{\partial T}\cdot\frac{PV}{T})_V]$$

如气体为理想气体,计算结果和焦耳定律都告诉我们 $j=(\frac{\partial T}{\partial V})_u=0$。对于非理想气

体,昂尼斯方程是普适的,其形式为: $PV=A_0+\frac{A_1}{V}+\frac{A_2}{V^2}+\cdots$

代入上式得: $j=\frac{1}{C_V}\cdot\frac{T^2}{V^2}[\frac{d}{dT}\cdot\frac{A_1}{T}+(\frac{d}{dT}\cdot\frac{A_2}{T})\frac{1}{V}+\cdots]$

显然,当 $V\to\infty$(即 $P\to 0$)时,焦耳系数 j 趋于零,这导致一般情况下,气体自由膨胀实验不易观测到温度随体积的变化。

可以计算[7],1kg CO_2 气体在绝热情况下自由膨胀,压强由 10 atm 降至 1 atm,温度大约降 5℃,即平均温降为 50℃/9 atm=0.56℃/atm。空气的主要成分是氮气。同样可以计算,绝热情况下,1 kg 氮气压强由 10 atm 降至 1 atm,温降 4.2℃,即平均温降为 4.2℃/9 atm=0.47℃/atm。因此即使 1 kg 空气(约 1 m^3 的空气)压强降低 1 atm),也只能降0.5℃左右。依此粗略计算,气压降低少于 3 atm 是不可能降温 1.5℃的。标准状态下,22.4 升空气才 29 克,而文献[3,4]实验中烧瓶体积仅为 1 升,气压降最大也只有 1 atm,因此其结果难以置信。前面我们已排除了《淮南万毕术》造冰法中存在节流过程的可能性。实际上即使看成节流过程也不能成冰。因此在低压差下节流过程引起的温度变化也十分有限。如在 20℃附近,空气经过节流过程,当压强差为 1 atm,只降温 0.27℃。[7] 更一般地"令气体在制冷区节流膨胀可使气体降温。焦耳-汤姆孙效应的典型大小是 $10^{-1}\sim1$ K/atm的量级。"[8]考虑到造冰法与模拟实验中实际过程与节流过程之间的较大偏差,实际效果较这一量级还会下降。

5.4.5 结　论

综合以上分析,我们认为:《淮南子》学派在那个时代,在那样的思想指导下,是绝对不可能成功"夏造冰"的。李先生的诠释一度似乎令我们看到了希望,甚至问题近乎解决了。进一步的分析结论却大相径庭。但他的研究却极大地开阔了后人的思路,并找到了正确的研究方向。实际上李先生的工作惟一的缺憾就是少了一定的量化分析而过多囿于定性探讨,否则他应该会发现问题的真相。至于赵的工作,是在李先生的指导下完成的,对其实验的进一步评价已超出本文探讨范围。但还是让本文作者想起一句话:不是观察决定理论,而是理论决定观察到什么。这句话可能不全面,但看来,至少有时,它又是真的。

参 考 文 献

[1] 洪震寰:《淮南万毕术》及其物理知识.中国科技史料,1983(3):32-33.

[2] 转引自戴念祖主编:中国科学技术史·物理学卷.北京:科学出版社,2001.

[3] 李志超.天人古义——中国科学史论纲.郑州:河南教育出版社,1995.

[4] 赵虹君:《淮南万毕术》反映的物理学研究。中国科学技术大学科技史与科技考古系资料室,研究生毕业论文(编号65).1993,16-22.

[5] 关增建,马芳:中国古代科学技术史纲·理化卷.沈阳:辽宁教育出版社.1996.

[6] 赵凯华、罗蔚茵:新概念物理教程·热学.北京:高等教育出版社.1998.

[7] [法]R·阿内甘,J·布迪昂著,李培廉译.物理学教程·热力学.北京:高等教育出版社,1988.

[8] 汪志成.热力学·统计物理学.高等教育出版社,2000.

(本文发表于 2004 年第 1 期《自然科学史研究》)

5.5 古希腊物理学简史

古希腊人的自然哲学及早期的科学思想是西方近代科学思想的主要源头。正如恩格斯所说:"在希腊哲学的多种多样的形式中,差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。因此,如果理论自然科学想要追溯自己今天的一般原理发生和发展的历史,它不得不回到希腊人那里去。"(恩格斯:《自然辩证法》,人民出版社,1971 年版,30~31)

5.5.1 古希腊人关于世界万物本原的主要思想

在古希腊人的思想意识中,世界的本原的确立是最重要的研究任务。正如亚里士多德所概括:"……在对自然的研究中首要的课题也必须是试确定其本原。"(亚里士多德著,张竹明译,《物理学》,商务印书馆,1997 年)

古希腊第一个将自然哲学从宗教、神话中分离出来的人,米利都学派创始人泰勒斯(约公元前 624—公元前 547)认为,水是万物的本原,一切由水而生又复归于水。很可能是出于对水的重要作用的充分认识才使泰勒斯提出了这样的学说。然而对于当时的希腊人而言,以万物由水而生又复归于水的思想去认识和理解自然界,会碰到许多难题。如,火怎样能从水中产生?泰勒斯的弟子阿那克西曼德(公元前 610—公元前 546)以抽象的方法,提出另一本原而回避以具体的物质形态——水为本原所遇到的难题。他认为,万物的本原是没有任何规定性,但可与任何具体物相互转化的"无限者"。这一命题优点是因其抽象而消除了一些困难,但也因其过于抽象而失于无甚实际意义。米利都学派的第三代弟子阿那克西米尼(公元前 585—公元前 528)提出了另一种说法:万物的本原是气。气被进一步稀薄化即成为火,气凝聚到依次成为风、云、水、土进而一切物质实体。

此后,赫拉克利特(约公元前 540—公元前 475)提出了火是万物本原的看法。他对火的活泼的变化性给予了充分的认识,以它为本原对诠释世界的运动变化是较为有利的。

西西里的恩培多克勒(约公元前 493—公元前 433)最早提出了古希腊的四元素说,认为火、水、土、气是万物的本原。四种元素按不同比例混合,如同画家用几种颜色绘画一般,即可形成活生生形形色色的万物。

留基波(公元前 500—公元前 440)与其学生德谟克利特(约公元前 460—公元前 370)提出了著名的对近代科学思想有重要影响的原子学说。他们认为,肉眼不可见的、不可再分割的物质微粒——原子,才是世界万物的本原。

与以上各种本原性质截然不同,还有一种在今天看来似乎不可思议的毕达哥拉斯学派的世界本原说。该学派认为,数(实际仅指有理数)才是世界万物的本原。这种认识,显然颠倒了数与世界万物的关系。但是该学派重视以数来描写万物的思想对近现代物理学家的影响十分深刻。

5.5.2 古希腊时期的力学

关于古希腊的力学,有两人的贡献十分巨大,那就是亚里士多德和阿基米德。其中亚里士多德的物理学,从知识上看虽然有许多错误,但其历史作用不可低估。后世的物理学家,如伽利略正是在合理地批判亚里士多德学说的过程中,奠定了近代物理的基本方法和基本精神。正如有人所说,错误的学说,辩证地看也有它积极的作用,"因为它们有助于提

出问题、集中注意力、并使许多科学家沿着同一路线共同努力,而不致在混乱的各个方向上完全耗散精力。甚至一种错误的理论,只要得到积极广泛的探讨,也能很快引出更好的理论所需要的重要观测结果。正如弗朗西斯·培根所说,错误比混乱更容易出真理。"(G·Holton著,张大卫等译,《物理科学的概念和理论导论》(上册),人民教育出版社)。亚里士多德的理论的历史作用,非常切合这一观点。另外一位人物阿基米德,他的基础物理贡献,他证明的原理与定律今天仍在起作用。

5.5.2.1 亚里士多德的力学

在亚里士多德看来,研究关于自然的问题,就首先"必须了解什么是运动。因为,如果不了解运动,也就必然无法了解自然。"(亚里士多德:《物理学》,张竹明译,商务印书馆,1997年,68)。

可见在亚里士多德的体系中对运动的研究被看成是认识自然的必经之路。

亚里士多德的物理学,虽然现在看来,错误较多与伽利略后的物理学在体系上思想上有本质的区别,(这一点早已为学术界所充分认识到),但他对运动的认识,并不是毫无贡献的。

他认识到了"运动被认为是一种连续性的东西。"这一认识在西方直到20世纪元年才由普朗克更改。他认为"此外,如果没有空间,虚空和时间,运动也不能存在。"(同上,68页)而且"离开了事物就没有运动。"(同上,69页)。他还将运动予以分类,而其中一类就是"能移动事物之实现就是位移。"因此可以说明确定义了机械运动。不仅如此他还对机械运动在运动中的地位予以了正确的评价:"'运动'的最一般最基本的形式是空间方面的运动(我们称之为位移)"。这在中国古代物理学中是不曾有过的。明确重视对机械运动的研究对促使西方学者明确对力学现象的研究无疑具有积极的影响。

亚里士多德的世界是一个高度秩序化的世界。地球是宇宙的中心,以月球到地球的距离为界,以下物体由土、水、气、火四元素组成;月层以上天体由纯洁的"以太"构成。在这基础上,他提出了天然位置的概念。气和火具有轻的性质,总要依本性上升。土和水具有重的性质,总要趋向地球。在亚里士多德看来,由物质因本性而决定的运动,就是由物质本性决定的回归其"天然位置"的运动,这种运动是自然的。他说:"如果没有外力影响的话,每一种自然物体都趋向自己特有的空间,有的向上有的向下……"(同上93页)。进一步他将其他的物质运动归结为受迫运动。

在以往的研究中,学者们更多地强调了亚里士多德的落体的自然运动思想。事实上仅就他在《物理学》一书中的思想而言,亚里士多德用更多的编幅阐述了他的与此不尽相同的另一种运动,即他更多地关注的是物体的被迫运动。"凡运动着的事物必然都有推动者在推动着它运动。"无一例外,"任何运动着的事物都有它的推动者。"(同上198)。推动是相互的,"因此推动者在推动的同时自身也在受到推动。"(同上72)

"既然任何运动着的事物都必然有推动者,如果有某一事物在被运动着的事物推动着作位移运动,而这个推动者又是被别的运动着的事物推动着运动的,后一推动者又是被另一个运动着的事物推动着运动的,如此等等,这不能无限地推溯上去,那么必然有第一推动者。"(同上199)

第一推动者与一般的推动一个事物运动的具体推动者是有本质区别的,亚里士多德认为"第一推动者是不能运动的。"(241)并且"既然运动是永恒的,那么第一推动者(如果

只有一个的话)就也应是永恒的;如果第一推动者有许多个,那么就会有许多个永恒的第一推动者。但这样的推动者应该宁可以为只有一个而不认为有许多个,宁可认为它是为数有限的而不认为它是为数无限的。因为只要结论相同,我们应该总是宁可假定为数有限,因为在自然物里(只要可能)应该支持有限者(即较好者)。这样的推动者一个就够了:它是永恒的,先于其他而自身不动的推动者,可以作为所有其他事物运动的根源。"(244)

亚里士多德的存在"第一推动者"的思想为后来的牛顿所继承,在牛顿看来,"第一推动者"就是上帝。他说:"一切事物都包容于上帝之中,并在其中运动……"(H·S·塞耶编:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社,1974年版,50)。"……行星现有的运动不能单单出之于某一个自然原因,而是由一个全智的主宰的推动。"(同上,56)

虽然在牛顿的前辈物理学家伽利略那里就基本完成了对亚里士多德物理学的批判,但亚里士多德对牛顿的自然哲学思想的影响还是较大的。除"第一推动"思想外,牛顿在他的著作中还曾指出:"除那些真实而已足够说明其现象者外,不必去寻求自然界事物的其他原因。"牛顿自己称此为他的自然哲学的方法中的第一条推理法则。他解释说:"因此哲学家说,自然界不做无用之事,只要少做一点就成了,多做了却是无用;因为自然界喜欢简单化,而不爱用什么多余的原因以夸耀自己。"(同上,3)。这与前面提到的亚里士多德论证"第一推动者"的个数时的理由是如出一辙的。实际上不难看出亚里士多德的时空观与牛顿的时空观也有颇多相似之处。亚里士多德说:"空间乃是一事物……的直接包围者……直接空间既不大于也不小于内容物。"(亚里士多德:《物理学》,100) 牛顿说:"处所是物体所占空间的部分"。亚里士多德说"空间意味着是不动的"。(亚里士多德:《物理学》,104) 牛顿说:"绝对的空间,就其本性而言,是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。"(H·S·塞耶编:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社,1974年版,19～20) 关于空间两人不同的是在亚里士多德那里,空间中存在不变的秩序,上与下具有绝对的意义。"如果没有外力影响的话,每一种自然体都趋向自己特有的空间,有的向上有的向下……。"(亚里士多德:《物理学》,93) 而在牛顿的理论中,空间失去了这种作用。但牛顿"绝对空间"的存在,显然仍然保留了在空间中的运动可以用空间给予绝对描述的理念,这无疑可以看成亚里士多德空间观念的淡淡影子。关于时间,亚里士多德的观点是:"时间既不是运动,也不能脱离运动","一切变化和一切运动事物皆在时间里","万物皆在时间里产生和灭亡";"时间不是运动,而是使运动成为可以计数的东西","正如运动总是在不停地继续着那样,时间也是不停地继续着的","时间是关于前和后的运动的数,并且是连续的(因为运动是连续的)。"(亚里士多德:《物理学》,121～135) 而牛顿将时间概括为:"绝对的真正的和数学的时间自身在流逝着,而且由于其本性而在均匀地、与任何其他事物无关地流逝着,它又可以名之为'延续性';相对的、表现的和通常的时间又是延续性的一种可感觉的外部的(无论是精确的或是不相等的)通过运动来进行的量度……。"(H·S·塞耶编:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社,1974年,19) 很难看出两个人有什么不同之处。

亚里士多德的运动思想中,有一点值得注意,他认为:"任何事物位移时总是离开静止处愈远运动得愈快。"(《物理学》263)他的理由是"凡自然物都是以一定的内在的根源为起点,通过不断的运动变化过程,达到一定的终结的……","那么显然,自然是一种原因,并且就是目的因。"自然发生着的和存在着的事物及其运动都是有目的的。而随运动的进

行，就愈来愈接近目的，物体奔向其目的地的倾向就越强。也正是在这个意义上，他认识到了物体下落是加速的。显然对这个问题的研究，亚里士多德的思想或逻辑的力量超越了客观现实对他的影响。

那么他又是如何得出重物下落更快的结论的呢？首先，他认识到了一个物体下落的快与慢与运动通过的介质有关，介质妨碍物体的运动。其次，他认为，力较大的物体分开介质的速度也较快。也就是说，亚里士多德认为重物下落较快全是因为介质的因素。所以他推论说："在没有介质的虚空里一切物体就会以同样的速度运动了。"（亚里士多德：《物理学》，116）

可见，正如《伽利略研究》的作者A·柯依列所说："亚里士多德的物理既不是普通意义的文字延伸，也不是幼稚的幻想，它是一种理论。此理论是以常识资料为出发点，并把这些资料升华为一种系统的、连贯的而又严密的解释。"（《伽利略研究》，江西教育出版社，2002年，9）在过去的著作中，对亚里士多德理论的积极作用的肯定实在是少得可怜，这是不符合历史事实的。

阿基米德（约公元前287—公元前212）是古希腊最杰出的力学家。科学史家丹皮尔称阿基米德的工作"比任何别的希腊人的工作都更具有把数学和实验研究结合起来的真正现代精神。"他严格地证明了杠杆的平衡原理，并提出、检证了浮力定律。因此阿基米德可以当之无愧地说是静力学与流体力学的创始者。"给我一个支点，我可以挪动地球"。这句名言可以说是科学家自信的第一声呐喊。阿基米德利用他的知识设计发明了许多机械并用之与罗马人作战，保卫叙拉古城达三年之久。但最后还是被一位士兵杀死。

阿基米德作为一位古希腊时期学者，主要的兴趣是几何学。他证明了圆柱体的容积与它的内接球体的容积的比例为3:2，他以此为自己平生最大的成就。

5.5.2.2 古希腊其他物理知识

在光学方面，古希腊人存在一个基本的错误认识：他们未能对视觉的产生给出正确的解释。毕达哥拉斯认为物体表面发射一些粒子（而不是今天我们知道的是反射光线），这些粒子进入人眼即产生了视觉。恩培多克勒和柏拉图等认为，人眼也能发射某种东西，它们与物体发出的某种东西在空间相遇则产生了视觉。

古希腊人的光学成就主要有两个：一个是欧几里得将几何学引入光学创立了几何光学；另一个是托勒密通过实验测得了光从空气进入水中时的入射角和折射角的一系列数据，但未能得出折射定律。

在声学方面，毕达哥拉斯学派研究了音调和琴弦弦长的关系，发现了音调谐和时的琴弦或笛子管长的简单整数比。恩培多克勒认识到了听觉的产生机制：物体被打击时会引起空气振动，传到人耳即产生听觉。亚里士多德在对声学现象研究时特别强调介质的作用，他认为回声与光的反射类似，是声的反射。

在电磁方面，古希腊人观察到了初步的静电与静磁现象。泰勒斯将磁石吸铁看成磁石有灵魂的证据。后来的卢克莱修则记述了磁力相斥的现象。他是古希腊原子论的集大成者。原子论是古希腊的一大理论贡献，前文已经提及在此不再重复。

第六章　经典物理学简史

6.1　力学——物理学基本框架的建立

虽然在很遥远的古代人们就发明和运用了杠杆、螺旋、滑轮(组)、斜面等简单机械，并在实践中积累了一定的力学知识，但今天意义下的力学的创建主要源于伽利略(1564—1642)的工作(单摆、落体、斜面实验等)。惠更斯(1629—1695)对复摆、向心力、转动惯量以及物体碰撞和弹回等问题的研究进一步推动了力学的发展。牛顿(1643—1727)对伽利略、惠更斯等一批物理学家的力学研究成果进行了卓越的归纳，结合他本人的研究，提出了三条运动定律，从而奠定了经典力学的基础，在一定意义上说这也是整个物理学，整个科学的基础。牛顿在开普勒等人工作的基础上，还发现了万有引力定律，从而使天上与地上的自然规律成功地统一起来。开普勒的行星运动三定律在物理学、天文学上都是重要的基础定律。开普勒三定律的形式都十分简单，这是他付出艰巨劳动从第谷遗留给他的大量天文观测数据中发现的。除了繁重复杂的数学计算外，他还忍受着生活的不幸。一只手落下残疾。十七岁时丧父，二十六岁时与一个出身名门而头脑简单，喜欢胡搅蛮缠的有钱的寡妇结婚，此后他很少感到家庭的温暖。1613 年，前妻死后与一个贫家女子结婚，感情虽融洽但经济上常很拮据。他的母亲因平时爱吵吵闹闹被指控有巫术罪被拘禁，他奔波一年多才使其母得到释放。他的两个妻子共生有十二个小孩，大多在贫困中夭折。他作为新教徒还经常受到天主教会的迫害。虽然他被任命为“皇家数学家”，但长期领不到薪俸，不得不靠为皇室贵族占星算命来维持生活。1630 年 11 月 15 日，他在前往索取薪俸的途中因贫病交困而死去。他为科学献身的精神是令人钦佩的。当然还应该认识到开普勒的工作也不是简单的数据处理，正如爱因斯坦所说：“开普勒的惊人成就是证实下面这条真理的一个特别美妙的例子，这条真理是：知识不能单从经验得出，而只能从理智的发现同观察到的事实两者的比较中得出。”

伽利略的著作有《关于力学和机械运动的两门新科学的对话》(1638 年发表)以及《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》(1632 年发表)等。

伽利略的主要力学贡献是明确了加速度概念；包括牛顿本人都承认伽利略发现了惯性定律(但不完全是现今意义上的)；伽利略还描述了力学相对性原理思想：在力学范围内，所有惯性系都是等价的。

在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》中，伽利略借萨尔维阿蒂之口提出问题：“在向下倾斜的平面上，运动着的重物天然地下降并不断加速，需要用力才能使它静止。……在向上的斜面上，要推动它甚至要止住它都得用力，并且加于运动体的运动在不断减弱，最后完全消失。……现在请告诉我，同样的运动体放在一个既不向上也不向下的平面上，会是怎样。”很自然地得出结论：“如果这样一个平面是无限的，那么，在这个平面上的运动同样是无限的，也就是说，永恒的了……”显然，这很接近牛顿第一定律即惯性定律。问题在于怎样理解“既不向上也不向下的平面”呢？伽利略说这样的平面“它的各部

分一定是和地心等距离的"，而伽利略自己当然清楚大地是球形的。因此，伽利略认为一个不加速不减速即不受力的物体，做的不是我们今天认为的匀速直线运动，而是一个匀速圆周运动！显然这与牛顿第一定律就有了本质区别。这说明伽利略也没能彻底摆脱亚里士多德的思想。亚里士多德在他的《物理学》中指出："作位置移动的事物其运动轨迹不外是圆周形、直线形或这两者的混合"。然而他认为圆周运动先于直线运动，因为它比较单一，比较完全。理由如下：直线运动不可能是无限的，因为没有无限长的直线，并且，即使有无限长的直线，也没有一个事物能通过它（因为不可能的事是不会发生的，而通过无限长的事物是不可能的事）。并且，有限直线上的运动，如果发生返回，就是复合的运动，实际上是两个运动；如果不发生返回，就是不完全的和可灭的运动。"

爱因斯坦说："常听人说，伽利略之所以成为近代科学之父，是由于他以经验的、实验的方法来代替思辨的、演绎的方法。但我认为，这种理解是经不起严格审查的。任何一种经验方法都有其思辨概念和思辨体系；而且任何一种思辨思维，它的概念经过比较仔细的考察之后，都会显露出它们所由产生的经验材料。把经验的态度同演绎的态度截然对立起来，那是错误的，而且也不代表伽利略的思想。况且，伽利略所掌握的实验方法是很不完备的，只有最大胆的思辨才有可能把经验材料之间的空隙弥补起来。"（爱因斯坦文集第一卷）。爱因斯坦的评判是十分中肯令人信服的。任何时候，实验、演绎推理以及想象和强有力的数学工具都是科学发展不可或缺的最基本最主要的手段和方法。

牛顿克服了圆周运动占有特殊地位的约束，他这样描述他的三大定律：

定律 1 每个物体继续保持其静止或沿一直线作等速运动状态，除非有力加于其上迫使它改变这种状态；

定律 2 运动的改变和所加的动力成正比，并且发生在所加的力的那个直线方向上；

定律 3 每一个作用总是有一个相等的反作用和它相对抗；或者说，两物体彼此之间的相互作用永远相等，并且各自指向其对方。

从今天的角度看牛顿定律十分简单也不难理解，如第一定律，如果承认力是改变物体运动的原因以及时间的连续性均匀性、过去与未来的对称性，再承认空间的连续性均匀性、对称性，那么在物体不受外力的前提下，其保持既定的运动状态将是必然的也是自然的结果。但是在物理学过去的历史上，人们在很长时间内面对牛顿定律却没有我们今天的轻松。赫兹就曾在他的著作中感叹："要想对一些善于思考的听众讲述力学导论而不时不感到困惑和抱歉，不想尽快讲完基本原理部分而赶快跳到那些不言而喻的例子，是非常困难的。"（赫兹《力学原理》）。

牛顿在借鉴哥白尼、开普勒、伽利略、惠更斯、胡克等人的研究成果和观点基础上，通过自己的研究，在《自然哲学的数学原理》中给出了万有引力定律：宇宙间任意两个实物粒子，都彼此相互吸引，引力的大小与它们的质量的乘积成正比，而与它们之间的距离平方成反比。法国数学家、物理学家拉格朗日说，牛顿是最幸运的，因为宇宙的体系只能被发现一次。

在对万有引力定律的验证方面，卡文迪许的工作最为出色。他在 1798 年利用自己设计的扭转天平测得万有引力常数为 $G=(6.754\pm0.041)\times10^{-8}\mathrm{dyn\cdot cm^2/g^2}$。

这在当时的条件下是极为精确的结果。卡文迪许（1731—1810）是一个乖僻的人，他从未结婚似乎也没有什么艺术灵感，研究几乎就是他的一切。英国科学社会学家约翰·齐

曼认为:"卡文迪许既不是一个像法拉第那样的概念上的创新者,也不是像牛顿那样的数学天才。但是就其研究的严谨和成果而言,置他于第一流物理学家是当之无愧的。他经典地把科学看成是对自然界的定量研究,并把他整个一生贡献给了这种值得追求的事业。……他所追求的只是给予他乐趣的科学知识,当他观测到并阐明了定量关系之后,他的好奇心才得到了满足,接着又去着手一些其他的问题。"

牛顿的主要著作是《自然哲学的数学原理》(1687 年出版)。

当然,同样应该指出,牛顿的概念也并不像今天的学生从老师那里学来的那么清晰准确。早有人指出牛顿定义物质的量用它的密度和体积一起来量度的不足,也得到了后人的理解,其他诸如将惯性混同于力(固有的力、惰性力)至少表明他的概念不是前后一致明确的。纵然还有美中不足之处,但是现代科学重视实验、依靠归纳与推理形成规律、最大限度地致力于用数学表述规律、通过实验验证规律的方法在伽利略那里就已形成了。牛顿使之更加系统化。科学虽然有了在各方面的长足发展,但这种基本的科学方法、科学研究的模式并未改变。爱因斯坦说过:"像他(指牛顿)这样的一个人,只能把他的一生看做是为寻找永恒真理而斗争的舞台的一幕,才能理解他。"

在牛顿之后,伯努利和欧勒等完成了刚体与流体动力学。达朗贝、拉格朗日以及哈密顿等建立了分析力学。1706 年拉普拉斯完成了巨著《天体力学》。早在 1755 年康德即出版了《自然通史和天体论》一书,提出了太阳系起源的"星云说",但该著作未受到同时代人的重视。50 年后,拉普拉斯总结了牛顿以后的科学成就,独立提出了一个类似的星云假说,并对假说作了详细论证,"因此才使'星云假说'逐渐受人重视"(恩格斯:《自然辩证法》)。拉普拉斯认为,灼热而旋转的气体云,经过一系列吸引和排斥、收缩和分离的自我组织,最终形成了太阳系。在康德·拉普拉斯的星云说中,在力学框架下第一次抛弃了亚里士多德的"第一推动者"以及牛顿的给世界"第一推动"的上帝。到了 20 世纪,1969 年德国物理学家哈根创立了协同学。依照协同学的理论,自然界的高度秩序化、自然界的结构与自然界的壮美都不是出自上帝之手,而是大自然自组织的结果,物质世界,自己是自己的原因,自己是自己的创造者。

经典力学第一次给人们提供了一个统一的自然科学世界图像,存在于空间中的物质是世界的主体,物体间的相互作用导致物体的运动变化,物体的运动规律和运动过程可以借助数学语言来准确描述。这些认识对物理学其他分支学科都有很大影响,力学完成了物理学的基本精神,构造了物理学的基本框架。

6.2 热学与统计物理学——多体物理学的建立

最初始的空气温度计仍然是伽利略(1593 年)发明的。华伦海特(1686—1736)则是温标的创始人。摄尔修斯创造了把零点选为水的冰点的百分温度计。

英国化学家布拉克(1728~1799)明确区分了热量和温度这两个常常混淆的概念,并且引进了比热和相变潜热等概念。傅里叶(Joseph Fourier, 1768—1830)于 1822 年在巴黎出版了题为《热的解析理论》一书,给出了热传导经验定律:$Q=KS\tau\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}$。

Q 表示在时间 τ 内沿 x 方向通过面积 S 的热量,$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}$为单位长度上的温度变化,$K$ 是

传热物质的导热系数。

后来傅里叶进一步证明温度 T 在均匀的各向同性物体内满足如下方程：

$$\frac{\partial T}{\partial \tau}=a^2\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)$$

后人认为，这并非傅里叶的主要成就，“我们最好把傅里叶的主要成就理解为这样两个方面：第一，把物理问题的公式化表示当作线性偏微分方程的边值问题来处理，这种处理（连同他在单位和量纲方面的工作）使理论力学扩展到牛顿《原理》所规定的范围以外的领域；第二，他为这些方程的解所发明的强有力的数学工具产生了一系列派生物，并且提出了数学分析中的那些激发了19世纪及其以后的许多第一流工作的问题。”（傅里叶：《热的解析理论》，桂质亮译，武汉前言出版社）

西方热学发展早期，热质说占主导地位，即认为热是一种无重量的无孔不入的特殊流体，它的流动就是热的传递。热质说能够解释一些热现象，卡诺就是在热质说的指导下发现卡诺定理的。后来人们认识到热运动的本质是组成物质系统的微观粒子的无规运动。本杰明·汤姆孙即伦福伯德（1753～1814）1798年发现了热质说难以解释的现象：在大炮膛孔时，由摩擦产生的热似乎是无穷无尽的。这引起了他对热质说的怀疑。此后经过戴维等多位科学家的努力，热动说最终才取代了热质说。约翰·齐曼评价伦福伯德时说：“他对热学进行的许多基础研究工作都源于实际问题。要领悟出他研究中的哲学思想是困难的，但是他实验中显示出来的质朴的创造才能、他的发明的实际价值却证明他是一个能力非凡的智者。……可以说伦福伯德是一个造福人类的技术主义者的先驱。他以予人方便而满足他的自我。”伦福伯德逝世时，人们评价他说：“他的幸福是完美无缺的，他个人的快乐与他为公众服务的热忱是一致的。但必须承认，他的言谈和处世给人的感觉是，如果认为他是一个为人们一致怀有好感，而自己又做了许多好事的人，则是非常使人惊奇的。他对他为之服务的人们毫无挚爱或尊重。显然，他在那些卑劣小人中见到的邪恶感情使他陷入烦恼，或者在他的竞争者中，由于他的好运而激发的其他感情，使他性情乖僻地去蔑视人性。他从不认为，人们的幸福应当向普通人去吐露。……他的欲望、努力和快乐，都像他的实验那样，是经过计算的。简言之，他不允许自己有冗多的习惯，甚至不多走一步路，多说一句话，从最严格的含义来说，他取消了‘冗多’这个词。毫无疑问，这是他把自己的全部精力致力于有意义的事业的可靠保证。”

热力学第一定律即能量守恒定律思想在定律明确提出前曾有不同形式的表述，在莱布尼兹、伯努利等人的著述中都可以看到，但得出定律的实质性工作是1842—1847年由迈尔尤其焦耳等人完成的。物理学的发展证实，能量转化与守恒定律是任何物理过程都必须遵守的基本守恒定律。得出这一定律的研究者付出了高昂的代价。迈尔（1814—1878）本是一名医生，1840年以船医身份从苏腊巴亚到爪哇的途中发现海员的静脉血和动脉血一样是鲜红的。这一现象引起了他的思索，1841年得出结论，认为在外界温度较高时机体需要吸收的热量较少，所以机体内食物燃烧过程减弱导致静脉血中留下了较多的氧而使血液的颜色变红。循此路线研究下去，他产生了能量守恒的思想，1842年写成《论自然界的力》一文。该文被德国权威刊物拒绝。1842年在化学家李比希支持下另一编文章《关于无机界力的评论》在《化学和药学》上得以发表。1845年迈尔自费出版了《论有机运动和新陈代谢》一书。1848年又出版了《通俗天体力学》讨论了宇宙中的能量循

环。观点的不断问世并没有得到他人更多的理解和公正评价,反而受到了意想不到的诽谤和讽刺,越来越多的麻烦加上两个孩子的夭折使他的精神受到了极大的刺激。1849年,迈尔从楼上跳下自杀未遂。身体稍有恢复他又继续工作,1851年发表《论热的机械当量》一文,同年被送进疯人院,受尽折磨。焦耳以及另一个研究者亥姆霍兹的研究之路同样艰难曲折。事实上,历史上很多重大发明发现的道路上都布满了自然与人为的荆棘,几乎每一项成果都是科学家披荆斩棘做出巨大牺牲而取得的,他们因此也更加可敬。

1850年克劳修斯、1854年开尔文分别从不同角度提出了热力学第二定律,揭示了热现象宏观过程的不可逆性。

开尔文是威廉·汤姆森(1824—1907)的贵族名讳,他为当时社会所公认的是,他在电学、磁学以及力学方面的实用研究。他的理论阐明了如何制造一种可横越大西洋的电报发报机。他设计了供测量电源用的仪器。他按照先进的物理学原理完善地改进了航海罗盘。他还发明了测深装置、验潮计等,并且研究了船舶航迹的数学理论。他于1881年在不列颠协会上宣读了一编论文,该论文认为:"传输电力的导体的最经济的截面积是,在某一给定时间中,能量损耗的价值与该时间中同资本有关的利润和贬值相等。"就这编论文而言,他简直和一个不自觉的马克思主义者相差无几了。开尔文是作为技术顾问的纯粹科学家的典范。他以他的全部知识、个人的魅力以及谦逊贡献给了当时的政治、军事和工业。他常常被看做是将他的科学权威直接服务于人类,为人类造福的大恩人,这是当之无愧的。这是约翰·齐曼给予他的高度评价。

克劳修斯提出的熵函数概念及反映热力学第二定律精神的熵增加原理的影响和意义远远超出了物理学范畴,成为了影响普遍的基本规律。

1906年德国科学家能斯脱(Walther Nernst ,1864—1941)提出了热力学第三定律,1917年他给出定律的简明表述是:绝对零度是不可能达到的。

与热学或热力学这种通过对热现象观测实验和分析而建立的宏观热理论不同,另一方面,人们从古代的原子论起步,认为宏观物质系统是由大量微观粒子组成,相信物质系统的宏观性质是大量微观粒子运动的集体表现。这一方面的研究形成了分子运动论和统计物理学。

最早以准确的分子运动思想研究气体问题是1857年由克劳修斯完成的。他的出发点是:

(1) 分子所占有的空间对于气体本身所占有的空间来说必须是无限小;

(2) 改变两个分子的运动的碰撞过程时间,比起分子两次碰撞之间的时间间隔来说是无限小的;

(3) 分子的影响必须是无限小的。

借助这样的气体模型并引人统计的方法,他推导出了气体的压强公式 $P=\frac{1}{3}nmv^2$。

其中 n 为分子数密度,m 为每个分子的质量,v 是分子的速度。

克劳修斯还创造性地引人了气体分子平均自由程概念,用以表示分子在连续两次碰撞之间所通过的自由路程的平均值。这为人们真正了解气体内的输运过程成为可能。从而解决了诸如一般状况下,气体分子平均速率达几百米/秒但气体实际扩散过程又相当缓慢的问题。

麦克斯韦(1831—1879)意识到他的前辈们的一个疏忽,认为气体分子不可能等速率运动。从而进一步以统计方法开始研究分子的速率,1868年给出了平衡态气体分子速率分布律:$f(v)=4\pi(\frac{m}{2\pi kT})^{\frac{2}{3}}e^{-mv^2/2kT}v^2$。

玻尔兹曼(1844—1906)改进了推导方法,于1868年将麦克斯韦分布律推广到保守力场的情形,从而说明了大气密度随高度的变化。

1872—1875年间玻尔兹曼推导出了描写非平衡态分布函数的演化的积分微分方程,定义了H函数并证明在一个孤立系,H函数是随时间而减少的即H定理。

由于麦克斯韦和玻尔兹曼的工作,在19世纪末,统计物理基本理论得以建立。

20世纪初,美国物理学家吉布斯(J. W. Gibbs,1839—1903)在他的《统计力学基本原理》一书中,将麦克斯韦和玻尔兹曼创立的统计方法进一步推广而形成了系综理论。经典统计理论应用于研究布朗运动等领域取得了较好的成果。吉布斯一生多病体弱,他总是尽可能让自己生活起居具有规律性,很少与他人进行没必要的交往,以保证他的科学工作不受影响。吉布斯品德高尚,他诚挚地对待科学研究工作,只要能够解决自己脑海里的问题就感到满足了,他从不炫耀自己的工作。吉布斯思想敏锐,洞察事物本质的能力极强,他没有浪费他的天赋而是成功地解决了一个又一个重大科学课题。他一生大部分时间在家乡纽黑文度过,由于他不追求个人的名声即使在他的家乡,也很少有人知道他。他的心灵总是宁静而恬淡,从不烦躁恼怒。吉布斯对人态度谦虚,亲切和蔼,对待学生尤其热忱。只要学生有求于他,总是竭尽所能予以帮助。

伴随量子力学的发展,统计物理也有新的进展,1924年玻色-爱因斯坦统计问世,1926年费米(E. Fermi,1901—1954)和狄拉克(P. A. M. Dirac,1902—1984)各自独立发现了自旋为半整数的微观粒子服从的统计法则,即费米-狄拉克统计。量子统计在金属物理学、晶体物理学等领域发挥了巨大作用。

另一方面,经过昂萨格、普律高津等人的努力,对非平衡态不可逆热力学过程的研究构成了20世纪统计物理学后期发展的主体,代表事件是1931年昂萨格提出了不可逆过程的倒易关系,1947年普津高津提出不可逆热力学过程中的最小熵产生原理,1969年又提出耗散结构理论。

热力学、统计物理学与力学的根本区别在于它要同时研究多体多研究对象的物理问题,这是更进一步的复杂问题。通过这一领域的研究人们认识到温度对大数微观粒子系统才有意义,许多自然过程具有不可逆性。该领域的形成更加丰富了物理学的研究方法。

6.3　电磁学——场物理学的发端

在西方第一个对电磁现象进行比较系统研究的人是英国人吉尔伯特(William Gilbert, 1540—1603)。1600年他出版了《论磁,磁体和地球作为一个巨大磁体》这本电磁学经典著作。他在总结前人的成果基础上,归纳出了一些电磁现象的初步经验性的结论。关于磁现象,他认识到了只有磁性物体才具有磁的吸力和斥力;磁体恒有南北两极,同名极相斥,异名极相吸;铁制物品在磁体的影响下会磁化。在静电方面,他发现摩擦过的琥珀、金刚石、水晶、硫磺等都能吸引轻小的物体,他称这种性质为电性。对于电现象与磁现

象,还进行了比较研究,他认为,电性质可以用摩擦方法产生,但磁性是自然界的磁体本身才具有的;磁性有两种——吸引和排斥,而电性仅仅有吸引(这说明他还未发现电荷间的排斥现象);电吸引比磁吸引弱,但带电体能吸引多种轻小物体,而磁力则只能对少数物质有作用;他还认为电力是可以消灭的。伽利略对吉尔伯特的工作曾给予高度评价。

对电磁现象的研究在西方远远晚于对力学、光学等的研究,而且早期进展十分缓慢。

1660 年左右,德国马德堡的酿酒商制造出了靠摩擦产生大量电荷的第一台起电机。1731 英国人格雷(Stephen Gray,1675—1736)区分了导体和绝缘体。克莱斯特(Kleist,1700—1748)和荷兰莱顿大学的穆申布罗克(Musschenbrock,1692—1761)在 1745 年发明了能存贮电荷的莱顿瓶。富兰克林(Benjamin Franklin,1706—1790)提出了正电和负电的概念,发现了电荷守恒定律,他还通过风筝实验认识了闪电的电本质,从而统一了天电与地电。

18 世纪关于磁的有价值的真正发现只有一项,那就是 1778 年布鲁格曼斯(1732－1789)发现了抗磁性。

1785 年库仑(C. A. Coulomb,1736—1806)在前人的成果之上对电荷间的相互作用规律进行了研究,给出了我们熟知的库仑定律。从这时起电学才真正进入量化研究阶段,才进入了真正意义上的科学的行列。

在对电流的研究方面,首先 1780 年伽代尼在解剖实验中偶然地发现了“生物电”。而伏打通过研究认识到“生物电”其实质就是“金属电”,伏打于 1800 年第一个形成了稳定电流的概念并制成了伏打电堆。

1819 年电与磁被认为是彼此分离的两种现象的认识被打破了,这一年丹麦物理学家奥斯特(Hans Christian Oersted,1777—1851)发现电流能在周围空间产生磁场。奥斯特的研究就像打开了电磁研究领域的发动机,从此物理学的电磁学时期迅速到来。1820 阿拉果和盖吕萨克通过电流绕线方法获得了第一块电磁铁;同年安培发现两根平行直导线通同向电流互吸通反向电流互斥,并提出了判断电流周围磁场方向的左手定则以及电流之间相互作用规律——安培定律。安培证明了螺线管与磁棒具有同样的磁作用。为将一切磁现象都归结为电流间的作用,安增提出了分子电流假说,从而科学地揭示了磁现象的电本质。

也在同一年,法国的毕奥(Biot)和萨代尔(Savayt)通过实验总结出了电流元产生磁场的定律,即毕奥-萨代尔定律。当然对这一定律的完善还有拉普拉斯的功劳。

在德国,1826 年欧姆(Geory Simon Ohm,1787—1854)经过艰苦的研究在定义了一些基本概念基础上给出了描述电流、电压与电阻关系的欧姆定律。这是现在中学生都熟知的定律,但当年这一重大成果却得不到学术界的承认,导致欧姆失去了在大学的工作并一直得不到提升,直到逝世前两年才被聘为慕尼黑大学的正式教授。

经过多年的研究,法拉第(Michael Faraday,1791－1867)于 1831 年发现了电磁感应现象,但以定律的形式记载下来,则是 1851 年的事了。美国物理学家在自感现象的研究中也独立地发现电磁感应现象。

法拉第在研究过程中还与众不同地提出了电场与磁场以及场中力线的概念。这为物理学的后续发展奠定了坚实的概念基础。1836 年法拉第还发现了静电屏蔽现象。

1833 年楞次在法拉第研究基础上给出了确定感应电流方向的楞次定律。

这时电磁学已经得到了需要力学的牛顿一样的人物出现的时刻。这个人就是麦克斯韦(James Clark Maxwell,1831—1879)。他认真研究了法拉第科学工作并继承了法拉第的科学思想,创造性地提出涡旋电流、位移电流等概念,借助自己高超的数学功力,缔造了精炼的电磁学的理论框架——麦克斯韦方程组,并在此基础上预言了电磁波的存在,提出光是一种电磁波的思想。麦克斯韦,完成了可与牛顿工作相媲美的物理学又一次大统一大综合大升华。

赫兹(Heinrich Hertz,1857—1894)1887年左右的工作证实了电磁波的存在,至此麦克斯韦的理论才得到人们的承认,麦克斯韦也被人们誉为"自牛顿以来世界上最伟大的数学物理学家"。

电磁学不仅开拓了一个新的物理领域,它也改变了我们的时空观,在牛顿力学的世界由存在于空间中的物质组成的认识基础上,电磁学又在空间中填充了一种与过去认识的物质不同的连续分布的物质——场,是场论物理学的发端。

6.4 麦克斯韦"没有明确预言电磁波的存在"么?

2003年第1期《自然科学史研究》发表了一编力作——《赫兹的电磁学研究时间顺序及其思想转变过程》[1],该文使我们对赫兹的工作的认识更加明朗清晰,但文中一句真正可以改写历史的话(如果此话为真)却是:"麦克斯韦没有明确预言电磁波的存在"([1],9页)

该文作者中国科技大学钱博士在其学位论文[2]中又反复强调了这一结论。那么麦克斯韦是否真的没有"明确预言电磁波的存在"呢?这实在算得上是物理学史领域的一个重要话题,应该予以认真分析。

6.4.1 历史上的定论

正如钱博士所讲:"就我们所掌握的资料而言,国内学者普遍认为麦克斯韦预言了电磁波的存在。"([2],10页)。中国科技史界对这一历史结论没有疑义。我们需要说明的是"就我们所掌握的资料而言",中国物理界对这一史实态度也一向明确。文献[3]是国内权威的《电磁学》著作之一,它的看法极具代表性。书中(784页)说:"麦克斯韦的理论系统地总结了前人的成果,特别是总结了从库仑到安培、法拉第等人电磁学说的全部成就,并在此基础上加以发展,提出'涡旋电场'和'位移电流'的假说,由此预言了电磁波的存在。而后,赫兹的实验证实了麦克斯韦电磁理论的正确性……"

与中国的学者相似,国外的著名物理学家和科技史专家也对麦克斯韦预言电磁波的史实坚信不疑。赫兹是德国人,德国学者应该对他更加了解,我们就从德国找两位重量级的人物,作为国外学者的代表。我们选择的第一位是爱因斯坦。他曾经说过:"关于这些场的时间-空间定律的严密公式表述,则是麦克斯韦的工作。当他用他自己所建立的偏微分方程,证明电磁场是以偏振荡波的形式,并且以光速在传播着的时候,可想象到他当时是怎样的感觉呀!世界上很少有人能够有幸享受到这样的经验。在那个激动的时刻里,他必定猜想不到,好像已完全解决了的光的那个谜一样的本性,却还会继续迷惑了以后好几代人。在这个时期,物理学家们花了好几十年时间才理解到麦克斯韦发现的全部意义,由此可见,他的天才迫使同行们在概念上要作多么勇敢的跃进。只是等到赫兹以实验证

实了麦克斯韦电磁波的存在以后,对新理论的抵抗才被打垮"[4]

我们选择的第二位是劳厄。他在其著作中曾作如下说:"……麦克斯韦自己的最突出的成就、对以后的一切又具有决定意义的一步是在1862年以后的一编论文中讲到的。他在传导电流之外又引进了位移电流,后者出现在任何有变化的电场强度的电介质中,并且只有和这个位移电流一道才能始终形成闭合的总电流。实际上,麦克斯韦是通过一个假设性的准力学模型而达到这个结论的。没有人把这个推导看成是令人信服的证明……然而,有趣的是他只是以这种迂回的方式迈出他的决定性的一步。光的电磁理论,也就是电磁波具有光速的知识,就这样成为一个必然的推论;麦克斯韦在1865年做出了这个推论。……就这样,今天的电学理论的物理基础已全部被奠定了。"[5]

文献[2](11页)指出:"国内外大多数学者对麦克斯韦预言电磁波的存在坚信不疑,只有少数学者对此持否定或怀疑态度……"。本文下面将论证说明:除却没有"加以考察论证"的"隐约"感觉,这"少数学者"的明确言论其实与文献[1,2]所说的"麦克斯韦没有明确预言电磁波的存在"结论是毫不相关的。(而且这"少数学者"的相关言论本身之对错尚有待进一步论证。)。麦克斯韦预言了电磁波的存在,如同牛顿提出了作用力与反作用力定律一样是不容置疑的,是国内外学界的共识。

6.4.2 "少数学者"说了什么

要推翻学术界公认的客观历史事实是困难的,所以文献[2](10页)将毫无说服力的从来没人"加以考察论证"的"隐约"感觉也当作了支持其论点的两个论据之一。这种态度,本文作者认为是不可取的。"隐约"的东西可以进入艺术领域的作品中,但凭"隐约"去论证说理无法服人,本文作者建议在史学考证中最好将它除去。

这样对文献[2]"最有力"的证据就只剩下一编文章和一本书,均出自同一作者即英国人查尔默斯(A. F. Chalmers)。在这编文章中这位英国人说:"麦克斯韦自己不知道他的理论预示着波动电流和加速的带电体应该发生辐射。也就是说,他甚至不知道他的理论中的最令人关注的预示,即预示着除了已经熟悉的光辐射之外,还有一种新的辐射——电磁辐射的存在。麦克斯韦没有预见到赫兹用实验方法所产生的电磁辐射。"([2],10页)。他在书中的说法我们将它摘录如下:"麦克斯韦想通过把法拉第的理论还原为机械以太的力学理论,把包括'力线'等概念的法拉第理论置于他认为更为可靠的基础上。麦克斯韦发现、引入了一个新概念,即他的位移电流是合适的。这个行动的一个引人入胜的结果是导致有可能对光的性质做出电磁学解释,正如麦克斯韦能够证明的那样。在这里我要强调的论点是:首先,麦克斯韦过去不知道,并且当时仍然不知道他自己理论的一个最为引人注目的结果,即它预言了一种新的现象,能够由振荡的电源发生的无线电波。麦克斯韦那个理论事实上有这个结果,尽管麦克斯韦不知道它,在麦克斯韦死后的两年即1881年,经过最初几次失败后被G·F·菲茨吉拉尔德发现并清楚地证明。……把电磁学还原为以太力学的纲领(麦克斯韦学派一致支持这个纲领),是一个从一开始就注定要失败的纲领。"[6]

查尔默斯的两番言论很明显向我们表达了这样的观点:①"'麦克斯韦没有预见到赫兹用实验方法所产生的电磁辐射。"② 麦克斯韦不知道他自己的理论预言了能够由振荡的电源产生的无线电波,但事实上他的理论有这个结果;③ 麦克斯韦把电磁学还原为以太力学的纲领是失败的。如果钱博士从查尔默斯的言论中看出了麦克斯韦"没有明确预

言电磁波的存在”的含义，显然，查尔默斯的观点①起到了决定性的作用。而观点①要起决定性作用，则钱博士必然首先承认了这一命题：赫兹用实验方法所产生的电磁辐射才是电磁波。这样钱博士实质上就不是要说明麦克斯韦没有明确预言电磁波，而是和查尔默斯一样站在远在赫兹之后的今天所秉承的狭义相对论的立场去界定无需以太媒介的电磁波，然后以此为标准来判定麦克斯韦以以太为媒介的电磁波是错的。这就实质上和查尔默斯简单地断言麦克斯韦把电磁学还原为以太力学的纲领是失败的观点结成了本质同盟。而依照查尔默斯的思想观点，牛顿将物体放在绝对空间与绝对时间的框架中的纲领是失败的，麦克斯韦把电磁学建立在以太媒介上的纲领是失败，爱因斯坦在狭义相对论中反以太的纲领也同样是失败的，因为在广义相对论完成后，爱因斯坦感到有保留具有一定属性的以太的必要性，一句话，任何纲领都注定是失败的。在某种意义和某一阶段看，这无疑是对的，是认识发展的必然结果。然而也仅仅在一定意义、一定作用上看这种观点才是对的，如果将它看成是普适的、无条件的，则必然泯灭了在特定历史阶段特定的科学范式下各种思想纲领彼时彼地的积极作用和重要意义。因此，研究麦克斯韦的电磁学思想与科学体系而首先抛弃其以太纲领是荒谬的，所以有学者认为在《电磁学通论》中，麦克斯韦“对以太所做的贡献，可与《自然哲学的数学原理》中牛顿对物质所做的贡献相媲美。

虽然近代的相对论和量子力学可能使我们不得不改正从牛顿和麦克斯韦得来的见解，可是他们业绩的影响将长留人间。”[7]这才是对待历史上科学思想的正确态度。钱博士可能不同意我们的看法。不过借助查尔默斯进一步的表白我们能够将事情看得更加清楚。他认为：“荷兰的H·A·洛仑兹和德国的H·赫兹终于知道，麦克斯韦的理论可以有效地被推广和应用于新情况，而无视据说作为场量基础的机械以太，并集中于研究麦克斯韦方程式表现其相互关系的场的性质。这条途径证明十分有效终于导致爱因斯坦的狭义相对论。”([6]，128页)。这句话将查尔默斯的纲领再一次展示无遗。事实上，爱因斯坦则曾将类似的话加在了麦克斯韦身上，他说：“麦克斯韦确实曾试图用一种机械模型的理智结构去解释或者证明这些方程。……但是他同时运用了几种这样的结构，而并不认真地采用其中任何一种，所以唯有这些方程看来才是根本的东西，在这里，场强度是终极的实体，它不能简化为别的任何东西。”([4]，294页)。可见，无论查尔默斯还是爱因斯坦的观点都非常主观或仁者见仁地加进了自己理解演绎的成分。关键是这种主观的或仁者见仁的演绎有多大的可靠性。爱因斯坦权且不议(但并非毫无道理)，仅看查尔默斯。无疑他是说赫兹放弃了麦克斯韦作为电磁媒介的机械以太。倘真如此，必然赫兹在著述中所说的“辐射”即我们今天的不依赖以太的电磁场的辐射。我们不否认在这一点上赫兹可能比麦克斯韦的认识有一定程度的进步，但他进步了多少十分值得探讨。因为从逻辑体系角度看物理概念物理理论，在没有20世纪才明确的波粒二象性前提下，彻底形成不依赖媒介的场的概念、波的概念或辐射的概念是不可能的。相反，借助以太这一今天我们知道完全是人们虚构的特殊客体，光的波与辐射等概念都极易建立，这也是以太概念在历史上极具生命力、经久不衰的原因。那时代的人们认为波就是借助媒介传递能量的一种方式，没有媒介是不会形成波的。电磁辐射概念的出现并不能置电磁以太媒介说于死地。因此，不能见赫兹应用了电磁辐射这一概念，就认为有充分理由相信他已完成了科学纲领革命，在这一点上查尔默斯有将不同历史阶段物理概念不加区分混为一谈之嫌。

事实上据初步统计至少到1888年为止，赫兹没有停止使用“电扰动”这一麦克斯韦反

复应用的概念(后面我们会阐明其意义),在赫兹同时代物理学家看来,赫兹也没有放弃电磁以太理论。1888年6月非茨吉拉尔德致赫兹的贺信([1],18页)中就说:"……您的实验研究成果将被称为'判决超距作用电动力学和电磁学以太理论的赫兹经典实验。'"赫兹在1890年的论文中,的确曾主张放弃麦克斯韦的以太结构,索性以麦克斯韦方程为出发点[8]。但他对麦克斯韦电磁波的证实此时早已完成,也就是说他是在没有(也不可能)抛弃以太论的前提下证实电磁波的存在的。从另一方面看,若真的赫兹曾经神奇地彻底摒弃了以太学说,那么,在狭义相对论诞生后,人们称颂爱因斯坦勇敢地抛弃了以太说岂不是十分滑稽?而在以太学说存在的前提下再看赫兹的电磁辐射,就会大大使之"革命性"褪色,它与惠更斯等人所说的光辐射就不会有本质区别。以太说与辐射概念本来就没有不能两立的矛盾关系。事实上在麦克斯韦著作[9]中已出现了"辐射的能量和胁强"(energy and stress of radiation)以及"能量辐射"(energy of radiation)的表述。查尔默斯与众不同地认为在麦克斯韦与赫兹之间存在一种科学纲领的革命缺乏足够的证据。退一万步,假使这场虚拟革命真的曾发生过,那查尔默斯所说的"麦克斯韦没有预见到赫兹用实验方法产生的电磁辐射"就是正确的。但仍无法否认麦克斯韦明确提出电磁波的史实。公正地说查尔默斯从来就没有否定过麦克斯韦曾明确预言电磁波存在。他所谓的麦克斯韦没有预见赫兹发现的电磁辐射与钱博士所言麦克斯韦没有明确预言电磁波的存在的说法不可等同视之。从思想史角度看,预言电磁波的存在是麦克斯韦电磁理论(尤其以太媒介理论)的必然结果。这可由其著作明显看出。

6.4.3　麦克斯韦的电磁波思想

麦克斯韦对前人及其同代人在电磁领域研究的结论进行比较分析、选择继承的基础上通过自己独到的研究完善了他的电磁场理论。他说:"我所提出的理论可以称为电磁场理论,因为它涉及电体或磁体邻近的空间;也可以称为动力学理论,因为它假定该空间中有正在运动的物质,从而产生我们所观察的电磁现象。电磁场包括和环绕那处于电或磁情况下的物体的那一部分空间。我们可以用任何种类的物质填塞那空间,我们也可以把浓密物质从那空间清除出去,使它如同盖斯勒管或其他所谓真空的情况那样。但是,总有足够的物质遗留下来,以接受和传递光与热的波动。正因为在可量密度的透明体代替所谓真空时,这种辐射的传递没有多大改变,所以我们不得不承认该波动是以太物质的波动,不是浓密物质的波动,而这种以太物质的波动的出现,只是以某种方式变更以太的运动。所以,从光和热的现象看来,我们有理由相信,有一种以太媒质可以填塞空间和渗入物体;它能运动,并将该运动从一部分传到另一部分;它能将该运动传到浓密物体,使其加热并以各种方式影响它。"[7]

麦克斯韦产生这些认识的外因无疑是法拉第的极大影响。关于法拉第,麦克斯韦说:"他从来不认为物体是彼此之间除了距离以外没有任何的东西而存在着,而且是按照距离的某种函数而相互作用着的。他把整个空间设想成一个力场,力线一般是弯曲的,而由任一物体引起的那些力线都从该物体向一切方向延伸,其方向将受到其他物体之存在的影响。他甚至把属于一个物体的力线在某种意义上说成物体本身的一部分。"([10],198页,以下所引麦克斯韦《电磁通论》中译文皆以[10]为准)。"在借助于媒质中一种胁强状态来解释电磁力时,我们只是在追随法拉第的观念,即认为磁力线倾向于自己缩短而且当并排存在时就互相推斥"(文献[10],315)"我们不能设想时间中的传播,除非是作为一种

物质实体在空间中的飞行，或是作为一种运动状态或胁强状态在早已存在于空间中的媒质中的传播。"(文献[10],560)

在麦克斯韦的理论中法拉第的力线已大大降低了地位，仅仅是"由一个永远沿着合强度方向运动的点所描绘出来的曲线。"(文献[10],(上),57)。相反一种媒质显得更加重要："事实上，每当能量在时间中从一个物体被传送到另一个物体时，就必然有一种媒质或物质，而能量在离开一个物体以后和到达其他物体之前就是存在于这种媒质或物体中的……由此可见，所有的这些理论都引向一种媒质的观念，而传播就是在那种媒质中进行的；而且我认为，如果我们采纳这种媒质作为一种假说，它就应该在我们的探索中占据一种突出地位，而且我们就应该努力构造一种关于它的作用的一切细节的思想表象，而这就一直是我在这部著作中的目标。"(文献[10],560～561)。麦克斯韦说完这段话，《电磁通论》这部经典巨著戛然而止。无疑，他所说的"一种媒质"就是以太。以太无所不在地充斥空间，充当物体间电磁作用的媒介。

麦克斯韦承认："每当有一种新现象需要解释时就用一种新的媒质来充满全部的空间，这在哲学上绝不是多么有道理的。"([10],492)。同时他认为"但是，如果两个不同科学分支的研究已经独立地提供了关于一种媒质的想法，而且，如果为了说明电磁现象而必须赋予媒质的那些性质是和我们为了说明光的现象而赋予光媒质的那些性质种类相同的，那种媒质之物理存在的证据就将得到很大的加强。"([10],492)

在涉及麦克斯韦赋予以太媒质那些性质前我们必须点明，麦克斯韦认为这种媒质应该能够传播光波和电磁波，不过鉴于他的电磁波产生机制，他形象地更多称电磁波为电磁扰动。(Electromagnetic Disturbances，见文献[9],"CHARPTER XX",431)。因此麦克斯韦在构造以太的作用的细节的思想表象时，主要指导思想是机械波动说对其媒介的要求。媒质应该是物质性的并充满两个物体之间的空间；媒质能承收能量；媒质具有有限的密度以承载振动动能，媒质应是弹性的可形变的因而可承载势能。他认为："在……关于电和磁的理论中，两种形式的能量曾经得到承认，那就是静电能量和动电能量，而这些能量被假设为不仅在带电的物体和磁化的物体上有其存在之处，而且在观察到有电力或磁力起作用的每一部分周围空间中有其存身之处。"([10],493)

接下来他导出了电磁扰动的普遍方程，即今天的电磁波的波动方程。首先"我们将假设这种媒质是静止的，也就是说，除了电磁扰动中可能涉及的运动以外，它没有别的运动。"[10](这如同先设一湖面是平静的。然后有一扰动，如投一石于，必然"一石激起千层浪"。这"千层浪"就是水波。那么"电磁扰动"，不是电磁波，是什么?)。其次，麦克斯韦为了得到电磁扰动的普遍方程，将真实电流用矢势三分量(为 F、G、H)和电势 Ψ 表出。得到的三个方程为：

$$\mu\left(4\pi C+K\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\right)\left(\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}x}\right)+\nabla^2F+\frac{\mathrm{d}J}{\mathrm{d}x}=0$$

$$\mu\left(4\pi C+K\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\right)\left(\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}y}\right)+\nabla^2G+\frac{\mathrm{d}J}{\mathrm{d}y}=0$$

$$\mu\left(4\pi C+K\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\right)\left(\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}t}+\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}z}\right)+\nabla^2H+\frac{\mathrm{d}J}{\mathrm{d}z}=0$$

其中 C 为媒质的比电导，K 是对静电感应而言的比感本领，μ 为磁导率。而

$$J=\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}x}+\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}y}+\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}z}$$

如果分别对 x、y、z 求三个普遍方程的导数,可得:

$$\mu(4\pi C+K\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t})(\frac{\mathrm{d}J}{\mathrm{d}t}-\nabla^2\Psi)=0$$

如果媒介是一种非导体,则 $C=0$,而正比于自由电荷体密度的 $\nabla^2\Psi$ 就与 t 无关。因此,J 就必须或是 t 的线性函数,或是常量,或是零,从而我们在考虑周期性的扰动时就可以完全不考虑 J 和 Ψ。从而方程组变为:

$$K\mu\frac{\mathrm{d}^2F}{\mathrm{d}t^2}+\nabla^2F=0$$

$$K\mu\frac{\mathrm{d}^2G}{\mathrm{d}t^2}+\nabla^2G=0$$

$$K\mu\frac{\mathrm{d}^2H}{\mathrm{d}t^2}+\nabla^2H=0$$

将方程与固体弹性波动方程类比,麦克斯韦即得出"电磁扰动在一种非导电媒质中的传播速度 $v=1/\sqrt{K\mu}$ 的结论。麦克斯韦清楚地知道:"各物体的性质是可以定量地测量的。因此我们就得到媒质的数据,例如一种扰动通过媒质而传播的那一速度的数值。而这一速度是可以根据电磁实验来算出的,也是在光的事例中可以直接观测的。如果居然发现电磁扰动的传播速度和光的速度相同,而且这不但在空气中是如此,在别的透明媒质中也是如此,则我们将有很强的理由相信光是一种电磁现象……"([10],492~493)。麦克斯韦根据当时的实验数据确定光速与电磁扰动传播速度具有相同数量级。

接下来,在"平面波"一节,麦克斯韦分别讨论了磁扰动和电扰动,发现:"磁扰动和电扰动的方向都位于波平面上。因此,扰动的数学形式就是和构成光的那种垂直于传播方向的扰动的数学形式相一致的。"([10],502)

至此我们可以清楚看出,以太是麦克斯韦电磁场理论中占有特殊重要位置的物质媒质。如果我们对作为媒质的空气扰动将产生声波,对作为媒质的湖水扰动将产生水波,同样对作为媒质的以太的扰动将产生电磁波(电磁扰动)。这从麦克斯韦的思想体系看来自然而然。当时在外人看来将理论的解释关键归之于以太的复杂结构,正如彭加勒所说:"使他的体系古怪而又枯燥乏味",但彭加勒同时补充说,我们决不能懊恼"麦克斯韦的智慧追寻了这一僻径,因为它因此导致了最重要的发现。"[11]本文作者认为"这一僻径"对于那个时代的麦克斯韦而言,是必由之路,别无选择。因为没有麦克斯韦认为充斥空间的以太媒质,他的位移电流、电磁扰动及其传播的概念等等都无法形成。考虑到那一历史时代科学范式的特征,我们不能不承认麦克斯韦明确预言了电磁波。如果认为麦克斯韦靠以太传播的电磁扰动(他还分别讨论了作为特例的称为平面波的电扰动与磁扰动)不是电磁波,那么我们就同时一概地否认了历史上始于惠更斯等人的光的波动说。因为在20世纪物质波、波粒二象性等思想概念确立前所有的光的波动说的倡导者,都认为光作为波动是需要传播媒质的。文献[2](12页)曾指出:"麦克斯韦《电磁通论》本身的晦涩难懂,赫兹更无法从麦克斯韦理论中获得他实验发现电磁波直接的指导思想。"这充分表明文献[2]的作者是承认麦克斯韦的著作中存在能够给赫兹以指导的电磁波思想的,只是赫兹无法看懂而已。麦克斯韦的著作是有难懂之处,但本文作者认为:"光的电磁学说"部分构成的

第二十章若说“晦涩难懂”，读过的人难以首肯。而其中“考虑周期性的扰动”以及“辐射”等词的出现若没对赫兹有所指导产生影响，倒让人十分费解；进一步，这些词提示我们，对查尔默斯所谓麦克斯韦不知道波动电流和加速的带电体应该发生辐射或麦克斯韦不知道振荡电源能发生无线电波的言论，学界有必要做更深入的考察。

文献[2](12 页)还把麦克斯韦从来没有考虑在实验中产生电磁辐射看成他没有预言电磁波的佐证。文献[12]曾给出一种麦克斯韦没做实验验证自己理论的解释：“J·J·汤姆森在他的回忆中曾经说过，这个似乎令人奇怪的事是因为卡文迪什实验室在麦克斯韦和瑞利男爵时期忙于大英科学促进协会交给的电阻和其他标准测量，以及在他自己领导的几年内将研究方向转向气体放电的研究上，因而把验证的工作留到德国物理学家去做。”我们还不要忘记麦克斯韦是数学家和大理论物理学家，但从不以实验研究工作而著称。据卡皮察讲：“麦克斯韦，他在做实验方面，没有多下工夫。他讲课时，物理实验进行得并不顺利；在他的实验室里，各种仪器摆放得也不是井井有条。”[13]麦克斯韦自己说过：“我决心撰写这本论著(指《电磁通论》)，主要就是希望把这些想法弄成一种数学方法的基础。”([10]，197 页)。综合这些因素看，麦克斯韦自己没到实验室验证自己的理论，不是什么不可理解的事，把这看成他没预言电磁波存在的证据则更不妥帖。文献[2](18 页)对赫兹表现出了极大的理解：“一方面，在科学史研究中，对于科学家没有预见到的科学事实，如果我们就归咎于科学家的失误，这势必有对科学家过于苛求之嫌；另一方面，对于一项科学研究的实用价值的认识往往受到当时相关学科和技术发展水平的限制。我们不能要求一个科学家在各个方面都能够作出超越时代的贡献。”本文作者呼吁对于麦克斯韦也应给予同样的宽容，不能要求他非自己在实验室证实电磁波的存在，他的工作才算完美，同样不能要求他必须使用“电磁波”一词而不是“电磁扰动”(倘如此今天的讨论皆可省了)，否则我们就拒绝承认他对电磁波的预言。本文作者认为，我们应该认认真真从其著作中体味其思想而不是止于字面上的望文生义，这才能体现出我们对前人工作的充分尊重，才能避免更多对前人的误解。物理学史界，承认玻尔在他伟大的“三部曲”中提出了“跃迁”(transition)概念，而事实上当时他的用词是“过渡”(passing)[14]。关键是不同的词表达了同样的含义和思想，玻尔如此，麦克斯韦亦然！

已久未尽享钱博士犀利的思想和极富感染力的谈吐了，如食无肉如居无竹，那风趣的调侃同样令我十分向往。老子曰：不笑不足以为道。本文有不当或精彩之处都渴望能博钱博士轻松一笑。学术是严肃的，但超然之心亦弥足珍贵！如蒙赐教则更感激不尽!!

参 考 文 献

[1]钱长炎．赫兹的电磁学研究时间顺序及其思想转变过程．自然科学史研究，2003，(1)：1～25．

[2]钱长炎：赫兹的物理学贡献及物理思想．中国科学技术大学博士学位论文．中国科技大学科技史与科技考古系资料室．学位论文：第 109 号．

[3]赵凯华，陈熙谋．电磁学(下)．北京：高等教育出版社，1985．

[4]许良英，李宝恒，赵中立等编译．爱因斯坦文集(第一卷)．北京：商务印书馆，1977．

[5][西德]M·V·劳厄著，范岱年，戴念祖译．物理学史．北京：商务印书馆，1978．

[6][英]A·F·查尔默斯著，查汝强，江枫，邱仁宗译．科学究竟是什么？—对科学的性质和地位及其方法的评价．北京：商务印书馆，1982．

[7][美]威·弗·马吉编，蔡宾牟译．物理学原著选读．北京：商务印书馆，1986．

[8][日]广重彻著，李醒民译．物理学史．北京：求实出版社，1988.
[9]James Clerk Maxwell：A treatise on electricity and magnetism．Oxford University Press．1955.
[10][英].杰·克·麦克斯韦著，戈革译．电磁通论(下)．武汉：武汉出版社，1994.
[11][美]科恩著．赵培杰，宗振山译．科学的革命．北京：商务印书馆，1998.
[12]阎康年．卡文迪什实验室——现代科学革命的圣地．河北保定：河北大学出版社，1999.
[13]卡皮察．科学家谈学习物理．大学物理，1989(8)：49.
[14]戈革．史情室文帚．北京：中国工人出版社，1999，19.
(本文发表于2004年第2期《自然科学史研究》)

6.5 光学——多领域交汇形成的物理学分支

光的反射定律已经很难确定是由谁提出的了。但惠更斯认为是斯涅尔(1620年)和笛卡儿(1637年)创立的。

光的折射定律的建立，开普勒有一定的贡献，他认为折射角分由两部分组成，一部分正比于入射角(这一结论托勒密认识到了，但只有在小角情况下才近似成立)；另一部分正比于入射角的正割值。

荷兰数学家斯涅尔在1621年左右发明了折射定律：入射角余割与折射角余割之比为常数。后来笛卡儿将余割之比换成了现在沿用的正弦之比。

牛顿1666年就通过著名的棱镜色散实验发现复色光可以分解为单色光的色散现象。

光究竟是什么？17世纪的物理学家们有足够的信心认为自己知道这个答案，他们没有想到这其实是到20世纪也没有令人满意答案的问题。

笛卡尔首先提出了光的近代微粒说，认为光是由大量微小的弹性颗粒所组成的。在后来的光学发展过程中，牛顿成了这一学说的代表人物，虽然今天看来将牛顿简单归类于光的微粒说拥护者行列很可能并不十分准确。光的波动说最初由意大利的格里马耳(Grimaldi，1618—1663)提出，但后来，惠更斯因其著作《光学》而成为光的波动说的代言人，这一学说还有一位有力的支持者则是胡克。

一方面光的微粒说能较好地解释光的反射、折射等现象，另一方面由于牛顿的权威作用，虽然惠更斯借助于他的原理成功解释了光的反射和折射定律，但相比之下，还是未能用足够的数学严密性来发展他们的观点，对于光是横波纵波也没有正确答案，因此早期光的波动说还不足以与微粒说相抗衡。进入19世纪，首先托玛斯·杨(ThomasYoung，1773—1829)于1801年提出了干涉概念，并成功地用之于对牛顿环的解释。他还专门设计了命名为杨氏实验的光相干实验。这一实验实际上已十分可靠地以事实证实了光的波动说。但迫于光的微粒说的余威，杨的工作未得到重视，光的微粒说仍然不可动摇。

菲涅尔(1788—1827)发展了惠更斯原理，认为光波同一波阵面上的点可以看成相干的子光源，从而他研究了各种衍射现象。当时法国的科学家泊松运用菲涅尔的方法得出了一个难以置信的结论：在光源与屏之间的一个圆片在屏上的阴影中心会出现一个亮点。他以此认为光的波动说是错误的。然而实验证明这个亮点是真正存在的。这对光的波动说是一个有利的推动。

早在1669年巴塞林那斯就发现了光的双折射现象即光束射到冰洲石晶体上，光束经折射后分成两束。1809年马吕斯又发现了光的偏振现象：当通过冰洲石晶体看玻璃后面的太阳时，在晶体取某些方向时可以看见两个太阳（双折射），但在玻璃和晶体处于某种确定取向时，其中一个太阳的像就会消失。

杨氏和菲涅尔对偏振和双折射现象进行了深入研究，他们确信光波应该是横波而不像以前认为的纵波。而只要光是横波对偏振现象的解释即迎刃而解。

解释现象的优势以及更多的实验支持使光的波动说逐渐得到了更多人的支持，终于取代了微粒说。

然而20世纪初（1905年）爱因斯坦为解释光电效应现象，提出了光量子理论。虽然爱因斯坦的光子（光量子）与牛顿的微粒说中的光粒子不同，但这在一定程度上还是复活了微粒说。1923年康普顿（A. H. Compton，1892—1962）又用光子说圆满地解释了康普顿效应。这样在都有实验事实支持的前提下，20世纪的物理学家不甚情愿地形成了光的波粒二象性的认识。

人们早期所说的光即指可见光，今天虽然我们知道光本质上是隶属于某一波段的电磁波，但这不能减弱光学的重要性。历史上，光的微粒说实际上直接源于牛顿的质点力学思想，却是光子说的前导，而波动说则是20世纪量子波动力学的源头。经典的思想与现代观点在这里汇合，彼此对立的学说在这里并存，展示了这一古老而又活跃的学科的极大魅力。

20世纪中后期激光、全息术、量子光学和信息光学等成为了理论和技术研究的热点。

第七章　现代物理学简史

7.1　相对论的建立

爱因斯坦创立的相对论由狭义相对论和广义相对论两部分组成，它不仅在物理学、天文学等自然科学领域产生了深远的影响，对哲学等社会科学领域也具有深刻的影响。

7.1.1　相对论产生的科学背景

如果说相对论是具有革命性的物理理论，那么它革命的对象是以牛顿力学为基础的经典物理学。当然这种革命人们早已认识到不是伽利略物理学对亚里士多德物理学的那种以否定为主并最终取而代之的革命。相对论的建立并不是简单地否定了牛顿力学。在经典物理范围，牛顿力学仍是有效的。因此，相对论是关于牛顿力学不适用的禁区的物理学，相对论开拓了物理学新领域。

在爱因斯坦之前已有许多物理学家如W·汤姆孙、赫兹等对牛顿力学中的一些问题提出了批评。而较系统地批评牛顿力学的人是马赫(1838—1916)。他在其著作《力学史评》一书中，对牛顿力学做出了全面的、批判性的评论，肯定了牛顿力学的成就并指出了它的严重不足。马赫明确反对牛顿的绝对时空观。在他看来不仅时空是相对的，而且"一切质量，一切速度，因而一切力都是相对的，并不存在有关于相对和绝对的任何区别。"其中他的关于物质的惯性(质量)性质依赖于宇宙中物质分布及他们之间的相对运动的思想，被后人称为"马赫原理"。爱因斯坦承认，马赫的观点对他创立相对论有积极的影响。

1913年爱因斯坦在致马赫的信中说："最近，您大概已经收到了我的关于相对论和引力的著作，这是我经过无尽的辛劳和痛苦的怀疑之后终于完成的工作。明年日食时将证明，以参照系的加速度同引力场等效为基础的基本假设是否真正站得住。如果真的站得住，那么，您对力学基础所作的天才研究，将不顾普朗克的不公平的批评而得到光辉的证实。因为完全按照您对牛顿水桶实验的批判，一个必然的结果是：惯性来源于物体的一种相互作用。"(爱因斯坦文集第1卷)

1916年在悼念马赫的文章中爱因斯坦指出："事实是，马赫曾经以其历史的——批判的著作，对我们这一代自然科学家起过巨大的影响，在这些著作中，他以深切的感性注意各门科学的成长，追踪这些领域中起开创作用的研究工作者，一直到他们的内心深处。我甚至相信，那些自命为马赫的反对派的人，可以说几乎不知道他们曾经如同吸他们的母亲的奶那样吮吸了多少马赫的思考方式。……马赫已清楚地看到了古典力学的薄弱方面，而且离提出广义相对论已经不远……"(同上)。

在经典物理的另一领域即由麦克斯韦建立的经典电磁学，同样存在问题。在经典的范式下，电磁波的形成与传播必须依赖以太媒介。然而在实验方面，一系列实验如著名的迈克尔逊-莫雷实验都没能测出地球相对于以太的速度。为了挽救以太学说，1892年著名物理学家洛仑兹提出了"长度缩短"假说：物体在"以太"中运动时，在运动方向上将发生

真实的长度缩短，有公式定量描述长度的收缩情况：

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

其中 l_0 是物体的静止长度，l 为运动时的长度，c 为光速，v 为物体相对于“以太”的速度。由于“长度缩短”抵消了地球在“以太”中运动产生的光程差，所以在迈克尔逊-莫雷实验中观察不到干涉效应。

洛仑兹的工作只是解决问题的一种尝试。站在今天的角度看，19 世纪末的物理学正面临一场大抉择：经典时空观、伽利略相对性原理和经典电磁理论不能相互协调，三者之中必须抛弃其一。洛仑兹实际上抛弃了伽利略的相对性原理，而爱因斯坦却选择了另一条道路。

7.1.2 狭义相对论的诞生

1905 年爱因斯坦发表了他的名著《论动体的电动力学》。在这编论文中爱因斯坦论述了狭义相对论的基本原理。

从文章的题目看，爱因斯坦的论文似乎仅仅涉及电动力学中的一些问题，而这些问题洛仑兹和其他物理学家都已详细地研究过。但事实上爱因斯坦在他的论文里也讨论了物理学最根本的问题，首先它涉及物理空间和时间的概念。

爱因斯坦指出，在运动物体电动力学中所遇到的使洛仑兹及其他物理学家为之大伤脑筋的困难，其根源就在于，这些学者所依据的乃是牛顿所确立的经典的空间和时间概念。

如果摒弃这些概念，一切困难就可以迎刃而解，而且根本不需要对以太及微粒之间的相互作用力等等提出任何假设。

爱因斯坦把两个基本假设或原理作为运动物体电动力学的基础，它们是：自然界一切现象的相对性原理和光速不变原理。

第一个原理表明，一切“物理体系的状态据以变化的定律，同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是用两个互相作匀速直线运动的坐标系中的哪一个并无关系”。

第二个原理：“任何光线在‘静止的’坐标系中都是以确定的速度 c 运动着，不管这束光线是静止的还是由运动的物体发射出来的”。

但是我们能否有把握地说，这两条原理可以同时成立呢？初看起来，这似乎是不可能的。

我们来研究一下臆想的实验，虽然这个实验在技术上是难以实现的，但原则上是可行的。

假设有两艘相同的宇宙飞船 A 和 B。它们远离一切天体，以不同的速度，但是是匀速地向同一个方向飞行。在这种情况下它们相互之间始终将以某个不变的速度作相对运动。

根据相对性原理，在这两个宇宙飞船内一切物理现象都以完全相同的方式进行，就像它们都是处于静止状态一样。

开始时我们将认为飞船 A 是静止的，并在它的船舱内进行下列实验。设有一名乘员（观察者）将一个光源放在船舱的中央，光源到船舱前、后壁的距离相同，并使光源产生闪

光。

因为我们已经商定，光源是放在船舱的中央，所以光脉冲经过同一个时间间隔 Δt 后，在同一个时刻 t 到达飞船的前、后壁。

现在反过来，把飞船 B 看做是静止的，并在它的船舱进行类似的实验。结果也将完全一样。光脉冲经过时间间隔 Δt 后同时到达船舱的前、后壁。

现在我们设想，其中一艘飞船，譬如说 A，赶上了飞船 B，而飞船的壁也都是透明的(因为我们讲的是臆想中的实验只要不违反自然规律，一切假设都是允许的)。此时飞船 A 和 B 上的观察者可以互相窥视，并注意观察在这些飞船上发生的事件。在两艘飞船互相擦过的一瞬间，观察者们都启动了一次闪光，每一个人都在自己的船舱中看到了上面所说的景象。

但是每个人在他人的船舱中看到了什么？因为除了相对性原理以外还有光速不变原理在起作用。因此，观察者 A 将看到，不仅从他自己飞船上的光源发出的光(相对于他运动的)以光速 c 传播的，而且从另一个飞船 B 上的光源(相对于他是运动的)发出的光也是以光速 c 传播的。因而，从飞船 A 中的观察者看来，B 船上的光不是同时到达船舱的前后两壁的，因为船舱(因而光源也是)处于运动中。为了达到前舱壁(假设是在运动方向的前方)光需要经过较长的路程(与到达后舱壁的路程相比)。

因而，在不动的飞船中，光仍然像以前一样同时到达船舱前、后壁。但在运动着的船舱中(按照静止的观察者的看法)光不是在同一时刻到达船舱前、后壁的。

同样，我们可以认为飞船 B 是不动的，而飞船 A 在运动。重复上面的论述我们将得出结论说，光将同时到达 B 的船舱前、后壁的，但不能同时到达飞船 A 船舱的前、后壁。

因此，我们得出一个结论，同时性具有相对的性质。在某个参照系中同时发生的事件，在另一个参照系中看来已经不是同时的了，如果第二个参照系相对于第一个参照系是在运动的话。

如果我们承认爱因斯坦的两点假设是正确的，那么我们就将与爱因斯坦一起得出上述结论。

爱因斯坦通过进一步的研究得出了结论：物体的尺度和时间间隔都是一些相对量，它们的数值与物体的速度有关。

在不同的参照系中，任何物体的尺度都不是一个常量。如果物体静止时的长度为 l_0，这就是说，若我们拿一根尺子去量度物体，它的两端在尺子上的位置将表明它的长度。

但是，如果物体以速度 v 相对于这个尺子或者某个测量仪器在运动，那么用这个尺子量得的将是另一个长度 l。

如果考虑到，为了测量某物的长度，比如说一个长方体的长度，必须同时在测量仪器上记下该物体的两端，那么就不难得出上述结论。前面讲过，同时性是相对的。因此，对于两个观察者(一个相对子长方体是静止的，面另一个是运动着的)来说，他们将按不同的方式记下物体的两端。

这意味着，两个观察者测得的长方体的长度是不同的。

计算表明，用同一仪器测量一个物体的长度，如果物体相对于仪器运动时测得的长度为 l，而如果物体相对于仪器静止时测得的长度为 l_0，则 l 将小于 l_0，它们将满足洛仑兹所确定的关系式：

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

从“同时”的相对性也可以推论出关于两个事件之间的时间间隔的相对性。如果两个事件之间的时间间隔在静止参照系中用静止的时钟测得为 Δt_0，则上述两事件之间的时间间隔在运动参照系中用运动时钟测得的则是另一个数值 Δt，并且有关系式：

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

这里 v——参照系或时钟的运动速度。例如，一个摆的振动周期用相对于摆的支架为静止的时钟测得为 T_0，而用相对于摆的支架以速度 v 运动着的时钟测得的周期为 T，并且

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

最有意思的是，物体的收缩和时间的变慢都是相互的，即相对的，而并非绝对的。取两个用同一种材料制成的、长度相同的长方体。令其中一个相对于另一个以速度 v 运动。此时如果把第一个长方体看做是静止的，那么运动着的第二个长方体的长度将小于第一个长方体。如果认为第二个长方体是静止的，那么相反，第一个长方体将比第二个短。

对于时间间隔的论述也完全一样。

从爱因斯坦的相对论还可以推论出，物体的质量与它的速度有关。这种依赖关系与洛仑兹的理论一致。

与洛仑兹的理论不同，爱因斯坦认为，物体质量的变化与物体是否携带电荷无关。就这样，爱因斯坦的相对论得出了与洛仑兹理论同样的结果。但是与后者的差别在于，新的理论是以完全新的概念新的时空观为基础的。

洛仑兹承认有以太存在，并确信有关时间和空间的经典概念是正确的。

爱因斯坦的理论则不需要以太，有关时间和空间的概念也完全改变了。时间不是绝对的了，它在不同的参照系中以不同的方式流逝；物体的尺度也不是绝对的，它随物体的运动速度而变化。

也是在 1905 年，爱因斯坦发表了关于相对论的第二编论文。在这编论文中爱因斯坦叙述了由这一理论引出的另一个新的重要结果。这就是著名的质能关系，它被称之为质量和能量等效定律。

爱因斯坦证明了，如果物体的能量改变 ΔE，那么此时它的质量将改变 Δm。并且这两个量之间的关系为 $\Delta E = \Delta mc^2$。

立刻可以看出，若物体的动能发生变化，则它的质量也应当改变。因为物体的质量与物体的速度有关。而动能也取决于速度。

很容易计算出，若物体获得的动能为 ΔE，物体质量的增量 Δm 是多少。对于最简单的情况，当物体的速度大大小于光速时，这种计算可以在中学物理教科书中找到。计算的结果与爱因斯坦的关系式一致。

爱因斯坦得出了一般情况下的关系式，即对于物体具有任何形式能量时的关系式。对最一般的情况这个关系式的形式为 $\Delta E=\Delta mc^2$，式中 E 为物体的总能量(包括动能、位能和内能等等)

7.1.3 广义相对论的建立

7.1.3.1 狭义相对论的局限性

狭义相对论发表以后，还在相当多数的著名的科学家们尚未弄懂它而激烈地反对的时候，爱因斯坦已感到狭义相对论还存在着无法使自己满意的两个内在缺陷。一是狭义相对论还必须保留惯性系的优越地位，因为它只适用于惯性参照系，二是不可能以自然的方式把引力理论同狭义相对论结合起来。

爱因斯坦创立狭义相对论，是从消除在麦克斯韦电动力学理论中存在着一个相对于以太静止的优越参考系这一内在缺陷入手的。然而狭义相对论虽然成功地打破了绝对参考系的优越地位，但却不得不保留惯性系的优越地位，这就不能满足爱因斯坦更基本的要求："物理学的定律必须具有这样的性质，它们对于无论哪种方式运动着的参考系都是成立的。"爱因斯坦认为，在一切参考系中，从事物理研究的观察者都应具有同等的地位，他们所得到的物理学规律具有同等的效力，也就是说，不存在任何特别优越的参考系，一切参考系中的观察者都是平权的。这是爱因斯坦创立广义相对论最基本的思想，也是他毕生的科学信念，这一思想的确立，如同哥白尼打破地心说，达尔文发现物种起源的进化论一样，是对人类思想认识水平提高的重要一步。

早在 1905 年创立狭义相对论时，爱因斯坦就在考虑这一问题："当我通过狭义相对论得到一切所谓惯性系对于表示自然规律的等效性时，就自然地引起这样的问题：坐标系有没有更进一步的等效性呢？换个提法：如果速度概念只能有相对意义，难道我们还应当固执地把加速度当作一个绝对的概念吗？"爱因斯坦不满意狭义相对论保留着惯性系的优越地位，并且为了能从根本上解决问题，而大胆地提出了广义相对性原理。

如果说，广义相对性原理的提出，是爱因斯坦具有高度哲学领悟力、追求物质世界统一性最突出的反映，那么等效原理的提出，也许就是爱因斯坦具有惊人的物理直觉、高超运用逻辑思维洞察力最集中的体现了。

狭义相对论诞生不久，爱因斯坦就在狭义相对论的基础上推导出了一个他自己称之为非常有趣的重要公式 $E=mc^2$，揭示了质量和能量之间存在着等效关系。如果物体的能量改变了 ΔE，那么质量也就改变了 $\Delta E/c^2$，按这一结论，物体的惯性质量将随其能量而变，落体的加速度也就要同它的水平速度或者物体的内能有关，这显然不符合一个古老的实验事实，在引力场中的一切自由下落的物体，都具有相同的加速度。这就促使爱因斯坦认真地思索引力的本质，寻求从根本上解决引力问题的途径。

7.1.3.2 广义相对论的基本原理

爱因斯坦 1922 年回忆他创建广义相对论的过程时讲道："当他正在思考如何突破狭义相对论的框架，以解决惯性与重量之间的不协调时，"有一天，突破口突然找到了。当时我正在伯尔尼专利局办公室里，脑子里突然闪现一个念头：如果一个人正在自由下落，他决不会感到他有重量。我吃了一惊，这个简单的思想实验给我的印象太深了，它把我引向了引力理论。我继续想下去，下落的人正在做加速运动，可是在这个加速参照系中，他有

什么感觉,他如何判断面前所发生的事情?"既然引力质量同惯性质量在数值上是彼此相等的,这种数值上的相等,暗示着性质上的相同。它应当在理论物理的原理中找到它自身的反映。那么,引力同惯性能够是同一的吗?随即,爱因斯坦进行了著名的理想升降机实验。把一台升降机放在引力场中,升降机内的人将会发现,顶部的小球在引力的作用下将以加速度 g 自由下落。现将升降机放在远离引力场的地方,令升降机以加速度 g 竖直向上运动,则机内的人将发现,小球仍以加速度 g 自由下落。由此爱因斯坦得到了广义相对论的第一条基本原理——等效原理:一个均匀的引力场等效于一个不变的加速度。等效原理的提出是朝创立广义相对论迈出的重要的一步。有了等效原理,通过"从理论上来考查那些相对于一个均匀速度的坐标系而发生的过程,我们就获得了关于均匀引力场中各种过程的全部历程的信息"。

随后从等效原理出发,引力场中的每一点附近都可以局部地等效于一个相对于惯性系做加速运动的非惯性系,而非惯性系与惯性系之间又能够通过坐标变换实现沟通,这样,在局部等价于引力场的非惯性系同没有引力场的惯性系之间,就只有空间时间结构的某种差异。整个引力场可以很自然地归结为空间时间的某种内在结构,物理定律在不同的参照系中应该能够得到统一的解释,惯性系这样一种极为优越的特殊地位也就可以取消了,为此爱因斯坦提出了广义相对论的第二条基本原理——广义相对性原理:自然规律同参照系的状态无关,相对性原理对于相互作加速运动的参考系也仍然成立。

7.1.3.3　广义相对论的实验验证

1925 年美国天文学家亚当斯(W. S. Adams, 1876—1956)观测到了天狼伴星所发出的谱线相对频移为 6.6×10^{-5},同广义相对论的预测值基本一致.

英国天文学家爱丁顿(A. S. Eddington, 1882—1944)赴西非,成功观察到了 1919 年 5 月 29 日在日全食时其他恒星的光线经过太阳附近由于太阳引力的影响而产生的偏转角约为 $1.61''\pm0.30''$,与爱因斯坦的预言非常好地吻合,这一消息很快传遍了全世界,爱因斯坦的理论从此被誉为"人类思想史中最伟大的成就之一"

7.2　量子力学的建立

1900 年普朗克在研究黑体辐射问题时提出了能量量子化假说。1905 年爱因斯坦发展普朗克的思想提出了电磁波由分立的光量子(光子)组成的光量子假说,从而解释了光电效应现象。1906 年爱因斯坦还提出了固体比热的量子理论。爱因斯坦的工作使物理界开始重视量子思想。1913 年玻尔发表了他的建立在角动量量子化等重要概念之上的原子理论,成功地解释了氢原子体系的物理问题。玻尔的半经典半量子的原子理论虽然有索末菲等人的进一步推广,但它对多电子系统的无能为力促使玻恩最早预言微观世界应该建立一种与过去完全不同的新的力学——量子力学。

7.2.1　矩阵力学的建立

矩阵力学的创立者海森堡原是索末菲的学生。1922 年 6 月玻尔应邀到哥廷根玻恩这里来讲学,索末菲带领海森堡一起去听讲。其间在泡利的推荐下,玻恩同意让海森堡接替泡利担任他的研究助手。索末菲赞同这一计划但提出海森堡必须下一年夏天回慕尼黑

完成博士学位。1922年10月海森堡开始在玻恩处工作。1923年7月23日回到慕尼黑,海森堡在索末菲那里仅以及格的成绩获得博士学位,10月又到玻恩这里工作。当时的海森堡心情沮丧,担心会失去玻恩助手的职位,玻恩宽容地接纳了他。1924年在哥廷根工作期间,海森堡于3月15日~17日短暂访问玻尔的哥本哈根研究所。1924年9月17日至1925年5月1日,海森堡再次到玻尔的哥本哈根研究所工作,之后他又回到哥廷根。

在研究中,海森堡认识到,不仅描写电子运动的偶极振幅的傅里叶分量的绝对值平方决定相应辐射的强度,而且振幅本身的位相也是有观察意义的。海森堡由这里出发,假设电子运动的偶极和多极电矩辐射的经典公式在量子理论中仍然有效。然后运用玻尔的对应原理,用定态能量差决定的跃迁频率来改写经典理论中电矩的傅里叶展开式。谱线频率和谱线强度的振幅都是可观察量。这样,海森堡就不再需要电子轨道等经典概念,代之以频率和振幅的二维数集。

但是令海森堡奇怪的是,这样做的结果,计算中的乘法却是不可对易的。当时他还不知道这就是矩阵运算,于是他把论文拿给著名物理学家玻恩,请教有没有发表价值。玻恩开始也感到茫然,经过几天的思索,记起了这正是他读大学时学过的矩阵运算,认出海森堡用来表示观察量的二维数集正是线性代数中的矩阵。从此以后,海森堡的新理论就叫"矩阵力学"。

玻恩认识到了海森堡的工作有重要意义,于1925年7月28日向《物理纪事》推荐,文章于9月得以发表。为了对海森堡论文所用的数学方法给予严密的论证并着手运用矩阵方法为新理论建立一大套严密的数学基础,玻恩先是邀请泡利合作,不料"得到的不是所期待的关心,而是冷冷的、讥讽的拒绝:'是呀,我知道你喜欢搞冗长和复杂的形式主义,你只能拿你的琐碎的数学把海森堡的物理概念糟蹋掉。'等等"。(玻恩:《我的一生》)一次偶然的机会,玻恩遇见了年轻的数学家约丹(P. Jordon),玻恩提出合作愿望,约丹欣然同意。1925年9月,两人联名发表了《论量子力学》一文,首次给矩阵力学以严格表述。

接着,玻恩、约丹和海森堡三人合作,又写了一编论文,把以前的结果推广到多自由度和有简并的情况,系统地论述了本征值问题、定态微扰和含时间的定态微扰,导出了动量和角动量守恒定律,以及强度公式和选择定则,还讨论了塞曼效应等问题,从而奠定了量子力学的基础。越来越多的文献表明,玻恩在量子力学的形成过程中的作用是十分巨大的。甚至可以说量子力学是在他的明确的研究方向的指导下完成的。但由于他自己的不张扬的个性以及一些复杂的原因,他的贡献随物理界对海森堡等人作用的肯定而大大弱化了。事实上还在玻尔、索末菲等人正设法进一步完善玻尔的原子理论(事实证明这是不可能成功的)时,玻恩就开始带领泡利海森堡等探索关于原子世界的量子力学了,量子力学一词也就是由此而来。搞科学研究的人都承认正确的研究方向的选择是弥足珍贵的,但海森堡却说自己从玻恩这里学到的只是数学(海森堡说过:"我在索末菲那里学到了乐观主义,在哥廷根人那里学到了数学,在玻尔那里学到了物理学")大卫·C.卡西第所著的《海森堡传》十分清楚而详细地记述了量子力学的建立过程,也表明了玻恩对海森堡的重要影响.海森堡自已也曾向玻恩表示过他的"复杂"心情。1933年获得诺贝尔物理奖后他在给玻恩的一封信中说:

亲爱的玻恩先生:

如果说我有好长时间没有给你写信,也没有对您给予的祝贺表示感谢,其一部分原因是我对于您问

心有愧。由于我们三个人——您、约丹和我——在哥廷根的工作,只有我一个人得到了诺贝尔奖金,这个事实使我很别扭,而不知道该怎样写信给您。我们的共同的努力现在得到了赏识,我当然是愉快的,我很乐于去回想合作的那段美好时光,我也相信,所有真正的物理学家都了解您和约丹对量子力学构成的贡献有多么伟大——尽管外人做出了错误决定——这是不会改变的。但我只能再一次为良好的合作而感谢您,而且觉得有一点惭愧。

祝

好

W·海森堡

苏黎世

1933年11月25日

(这封信源自玻恩著,陆浩等译:《我的一生》。东方出版中心1998年)

然而在1933年12月11日海森堡的诺贝尔获奖者演讲中,他感谢了玻尔,却对玻恩的先前影响只字不提,对玻恩的直接工作一言以蔽之为"玻恩、约丹和狄拉克的功劳是把上述的数学系统发展成协调的和实用的理论。"在展望量子力学的未来时,海森堡干脆彻底摒弃了他的恩师,他说:"不用说,研究工作应该以德布罗意、薛定谔、玻尔、约尔丹和狄拉克的研究为基础。"(诺贝尔物理奖获得者演讲集,第二集)忘记了他曾请玻恩决定自己最有价值的论文是否值得发表,而恰恰是玻恩慧眼识珠将海森堡的论文推荐发表的。海森堡的实用主义箴言是:"成功不择手段。"他为纳粹服务的事实已为学界多数正直学者所不齿。著名物理学史家戈革先生曾著文讨论海森堡的学术和人品。戈革先生质疑海森堡的人品主要还是着眼于海森堡的政治立场。事实上从海森堡对待玻恩的态度来看,他的人品也是值得怀疑的。海森堡的学术地位没人否定,可见要成为一个令人尊敬的人仅仅做出巨大的科学贡献还是远远不够的。与海森堡相反,玻恩由始至终在公开场合都是高度评价他这位曾经的年轻助手的贡献。当然玻恩也不是没有想法,他曾说过:"1932年我没有和海森堡一起得到诺贝尔奖金,尽管海森堡给我写了一封友好的信,这件事当时还是在我的感情上造成了巨大的创伤。我从这种心情中恢复过来,是因为我觉得海森堡确实比我强。"

7.2.2 波动力学的建立

在海森堡、玻恩和约丹创立矩阵力学的同时,薛定谔从另一途径创建了波动力学。

薛定谔是奥地利人,1906—1910年在维也纳大学物理系学习,1910年获得博士学位后留在维也纳大学从事实验物理学研究。薛定谔是一个激情化的人,不仅有诗人气质,而且还真的写过一些受人好评的诗。在研究工作、友谊、美酒、诗歌和戏剧、女人的爱情、爬山、赶海中,他总能找到幸福。在这些方面,他与他的精神领袖叔本华同出一辙,悲观地看待世界却沉溺于其中,如患偏执狂般地厌恶女人却热情追求漂亮女人。这真是值得心理学家好好研究的现象。玻恩说过:"薛定谔是我所见过的人中最为迷人的一个。……他不喜欢学院生活,也不喜欢坐在盛宴上吃饭。他认为没有妇女参加的学会既可恶又野蛮。……他是位极可爱的人,无拘无束,喜欢逗趣,性情多变,仁慈慷慨,并且有极完美而聪明的头脑。"薛定谔的人生经历证实了贝尔纳一句话的正确性:"时间、地点、姑娘,还有激情的火花,所有这一切加在一起,就是创造活动所必须的条件。"

第一次世界大战期间,薛定谔服役于一个偏僻的炮兵要塞,利用闲暇研究理论物理,

1921 年受聘任瑞士苏黎世大学任数学物理教授,主要研究热力学和统计力学,1925 年夏秋之际,从事量子气体理论研究。这时正值爱因斯坦和玻色关于量子统计理论的著作发表不久,爱因斯坦在论文中提到了德布罗意的物质波假说。在他的启示下,薛定谔萌发了用新观点研究原子结构的想法。可以说,爱因斯坦是薛定谔的直接引路人,正是由于爱因斯坦那编关于单原子理想气体量子理论的论文,引导了薛定谔的研究方向。1925 年 10 月,薛定谔得到了一份德布罗意的博士论文,使他有可能深人地研究德布罗意的博士论文对他的启示。法国物理学家诺贝尔奖得主路易斯·德布罗意(1892—1987)原是一位历史学硕士,在哥莫里斯·德布罗意影响下开始了对物理学的学习和研究。1913 年获物理学硕士学位。1923 年他就发表了几编关于实物粒子具有波粒二象性的文章,但未引起更多人注意。1924 年在博士学位论文中,他再次向物理界公布了他的物质波假设。后来他自己回忆说:“在 1923 年我写出了博士论文,为了得到博士学位我想把它寄出去。我将论文复印了 3 份,将其中一份寄给了朗之万,以便他决定是否可以作为博士论文接受。朗之万也许对我的新思想的新奇有点感到惊异,又向我要了一份寄给爱因斯坦,请爱因斯坦评定。爱因斯坦读完以后就宣布,在他看来我的思想是很有趣的。促使朗之万接受了我的论文。”(何祚庥,侯德彭:《量子力学的丰碑——纪念德布罗意百年诞辰》,广西师范大学出版社,1992 年)德布罗意的主要思想是像电子、质子这样的实物粒子也具有波动性,其波长与其动量由普朗克常数联系起来:$\lambda = h/p$。

据说爱因斯坦看过德布罗意的论文后说:“瞧瞧吧,看来疯狂,可真是站的住脚呢!”(王福山:《近代物理学史研究》复旦大学出版社,1983 年)爱因斯坦的青睐无疑对德布罗意物质波思想尽快为物理界重视起到了极大的作用,1925 年戴维逊和革末通过实验证实了德布罗意物质波假设,他们的实验结果于 1927 年公开发表。

薛定谔研究过德布罗意的论文后写道:“我要特别感谢路易斯·德布罗意先生的精湛论文,是它激起了我的这些思考和对‘相波’在空间中的分布加以思索。”著名化学物理学家德拜对他也有积极影响。据说,在苏黎世定期召开的讨论会上,薛定谔被德拜指定作有关德布罗意工作的报告。在报告之后,主持人德拜表示不满,向他指出,研究波动就应该先建立波动方程。薛定谔在他的启示下,下功夫研究这个问题,几星期后,薛定谔再次报告,宣布找到了这个方程。(Bloch,Phys,Tod,28(1975,Dec)p.23)

这个有关薛定谔创建波动力学的故事,流传甚广,德拜本人也表示确有此事。但应该指出,这件事情即使发生过,对薛定谔的工作也不会起决定性的影响。(V. V. Raman, HSPS,Vol.1(1969)p.293)

1926 年 1~6 月间,薛定谔一连发表了四编论文,题目都是《量子化就是本征值问题》,对他的新理论作了系统论述。薛定谔是从经典力学和几何光学的对比,提出了对应于波动学的波动方程。开始,他试图建立一个相对论性运动方程,但由于当时还不知道电子有自旋,所以在关于氢原子光谱的精细结构的理论上与实验数据不符。后来他改用非相对论性波动方程来处理电子,得到了与实验相符的结果,这个波动方程现在就叫薛定谔方程。他在第一编论文中引入波函数 φ 的概念,利用变分原理,得到不含时间的氢原子波动方程:$\nabla^2\varphi + \frac{2m}{K^2}(E + \frac{e^2}{r})\varphi = 0$ 或 $\nabla^2\varphi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E + \frac{e^2}{r})\varphi = 0$,其中 $h = 2\pi K$。

薛定谔从这个方程得到的解正是氢原子的能级公式。这样,量子化就成了薛定谔方

程的自然结果,而不是像玻尔和索末非那样需要人为规定某些量子化条件。

薛定谔在论文一开始就写道:"通常的量子化法则可以用另一个假设来代替了,在这个假设中,不引入任何一个关于'整数'的概念,而整数性倒会像振动的弦的波节数是整数一样很自然地得出来。这种新的理解是可以普遍化的,而且象我认为的那样,是很深地渊源于量子法则的真正本质之中的。(S. Schrodinger, Ann. d. Phys., 4(1926))

在第二编论文中,薛定谔从经典力学与几何光学的类比及物理光学到几何光学过渡的角度,阐述了他建立波动力学的思想,并建立了一般的含时间的波动方程。

接着,薛定谔解出了谐振子的有级和定态波函数,结果与海森堡的矩阵力学所得相同。他还处理了普朗克谐振子和双原子分子等问题。

薛定谔的第三编论文阐述了定态微扰理论,他用波函数详细计算了氢原子的斯塔克效应,结果与实验符合得很好。

薛定谔的第四编论文推出了含时间的微扰理论,并用之于计算色散等问题。

这一组论文奠定了非相对论量子力学的基础。薛定谔把自己的新理论称为波动力学。

总括起来,薛定谔的思想大概是从以下四个方面的前提得出来的:

① 原子领域中电子的能量是分立的;

② 在一定的边界条件下,波动方程的振动频率只能取一系列分裂的本征频率;

③ 哈密顿-雅可比方程不仅可用于描述粒子的运动,也可用于描述光波;

④ 最关键的是爱因斯坦和德布罗意关于波粒二象性的思想。电子可以看成是一种波,其能量 E 和动量 P 可用德布罗意公式与波长 λ 和频率 ν 联系在一起。

波动力学形式简单明了,数学方法基本上是解偏微分方程,对大家比较熟悉,也易于掌握,所以,人们普遍欢迎这一新理论。但是,波动力学和矩阵力学究竟有什么关系,谁也说不清楚,开始双方都抱有门户之见。后来,薛定谔认真钻研了海森堡等人的著作,于1926年发表了题为《论海森堡、玻恩与约丹和我的量子力学之间的关系》的论文,证明矩阵力学和波动力学的等价性,指出两者在数学上是完全等同的,可以通过数学变换从一种理论转换到另一种理论,它们都是以微观粒子的波粒二象性为基础。与此同时,泡利也作了同样的证明。

关于波动力学的建立,有一件事不应不说。1925年的冬天,玻恩来到美国讲学,和维纳合作发表了一编文章。后来玻恩回忆说:"在某种程度上,可以说此论文就是量子力学中薛定谔算符微分学的前驱,而我们却恰恰在某些方面没有抓着最重要的一点,使我至今仍感到惭愧。因为在论文中我们已经使用了微分算符 $D=d/dt$,并验明其等同于 $(2\pi i/h)W$,这里 W 表示能量,但没有看到 d/dq 按同一方式和 $(2\pi i/h)p$ 等,这里 p 是属于坐标 q 的动量。与此相反,我们对 p 与 q 搞了一个复杂的积分表示式,这是和维纳的数学思想相一致的,但连我本人都很难接受(现在我已经忘了)。这样,尽管我们已经很接近波动力学,但最终未能得到它,只有薛定谔才是公认的波动力学开拓者。"(玻恩著,陆浩等译:《我的一生》,东方出版中心,1998年)

7.2.3　玻恩的统计解释

薛定谔的波动力学提出后,人们普遍感到困惑的是其中某些关键概念(例如波函数)

的物理意义还不明确。薛定谔把波函数解释成是描述物质波动性的一种振幅,用波群的运动来描述力学过程。在他的理论中,粒子不过是波集中在一起形成的波群,即所谓的波包。又是玻恩对薛定谔的波动力学作了重要补充,他在 1926 年 6 月发表题为《散射过程的量子力学》一文,指出:"迄今为止,海森堡创立的量子力学仅用于计算定态以及与跃迁相关的振幅,"但对于散射问题,则"在各种不同形式中,仅有薛定谔的形式看来能够胜任。"他在对两个自由粒子的散射问题进行计算后对波函数的物理意义作了探讨,指出:发现粒子的几率正比于波函数 φ 的平方。只要把波函数做这样的诠释,散射结果就有明确的意义。由于有了玻恩的诠释,波动力学才为公众普遍接受。

玻恩在回忆他是怎样想出这一诠释时写道:"爱因斯坦的观点又一次引导了我,他曾经把光波振幅解释为光子出现的几率密度,从而使粒子(光量子或光子)和波的二象性成为可以理解的。这个观念马上可以推广到 φ 函数上:$|\varphi^2|$ 必须是电子(或其他粒子)的几率密度。(M·玻恩,*我的这一代的物理学*,商务印书馆,1964)可见,爱因斯坦在量子力学的发展中所起的作用同样巨大。

7.2.4 测不准原理和互补原理的提出

测不准原理也叫不确定原理,是海森堡在 1927 年首先提出的,它反映了微观粒子运动的基本规律,是物理学中又一条重要原则。

海森堡在创立矩阵力学时,对形象化的图像采取否定态度。但他在表述中仍然需要"坐标"、"速度"之类的词汇,当然这些词汇已经不再等同于经典理论中的那些词汇。可是,究竟应该怎样理解这些词汇新的物理意义呢?海森堡抓住云室实验中观察电子径迹的问题进行思考。他试图用矩阵力学为电子径迹作出数学表述,可是没有成功。这使海森堡陷入困境。他反复考虑,意识到关键在于电子轨道的提法本身有问题。人们看到的径迹并不是电子的真正轨道,而是水滴串形成的雾迹,水滴远比电子大,所以人们也许只能观察到一系列电子的不确定的位置,而不是电子的准确轨道。因此,在量子力学中,一个电子只能以一定的不确定性处于某一位置,同时也只能以一定的不确定性具有某一速度。可以把这些不确定性限制在最小的范围内,但不能等于零。这就是海森堡对不确定性最初的思考。据海森堡晚年回忆,爱因斯坦 1926 年的一次谈话启发了他。爱因斯坦和海森堡讨论可不可以考虑电子轨道时,曾质问过海森堡:"难道说你是认真相信只有可观察量才应当进入物理理论吗?"对此海森堡答复说:"你处理相对论不正是这样的吗?你曾强调过绝对时间是不许可的,仅仅是因为绝对时间是不能被观察的。"爱因斯坦承认这一点,但是又说:"一个人把实际观察到的东西记在心里,会有启发性帮助的……在原则上试图单靠可观察量来建立理论,那是完全错误的。实际上恰恰相反,是理论决定我们能够观察到的东西……只有理论,即只有关于自然规律的知识,才能使我们从感觉印象推论出基本现象。"(W. Heisenberg, Physics and Beyond, Allen, 1971, p. 62)后来他回忆说:"我试图围绕下列问题来思考:也许只有能够用量子力学的数学方案来描述的情况才在自然界或实验室中发生吧?这就意味着,在云室中的电子并没有真正的路径。那里只有一连串的小水珠。每一小水珠粗糙地指明了电子的位置;而电子的速度可以从这一串小水珠粗糙地得出。这种情况是可以在量子力学的数学方案中表达出来的。计算给出了动量与位置的不精确度的乘积的下限。"(见 1984 年第 8 期《大学物理》)。

海森堡在1927年的论文一开头就说："如果谁想要阐明'一个物体的位置'(例如一个电子的位置)这个短语的意义，那么他就要描述一个能够测量'电子位置'的实验，否则这个短语根本没有意义。"海森堡在谈到诸如位置与动量，或能量与时间这样一些正则共轭量的不确定关系，说："这种不确定性正是量子力学中出现统计关系的根本原因。"

海森堡测不准原理是通过一些实验来论证的。设想用一个 γ 射线显微镜来观察一个电子的坐标，因为 γ 射线显微镜的分辨本领受到波长 λ 的限制，所用光的波长 λ 越短，显微镜的分辨率越高，从而测定电子坐标不确定的程度 Δq 就越小，所以 $\Delta q \propto 1/\lambda$。但另一方面，光照射到电子，可以看成是光量子和电子的碰撞，波长 λ 越短，光量子的动量就越大，所以有 $\Delta p \propto 1/\lambda$。经过一番推理计算，海森堡得出：$\Delta q \Delta p = h/(4\pi)$。海森堡写道："在位置被测定的一瞬，即当光子正被电子偏转时，电子的动量发生一个不连续的变化，因此，在确知电子位置的瞬间，关于它的动量我们就只能知道相应于其不连续变化的大小的程度。于是，位置测定得越准确，动量的测定就越不准确，反之亦然。"

海森伯的测不准原理得到了玻尔的支持，但玻尔不同意他的推理方式，认为他建立测不准关系所用的基本概念有问题。双方发生过激烈的争论。玻尔的观点是测不准关系的基础在于波粒二象性，他说："这才是问题的核心。"而海森堡说："我们已经有了一个贯彻一致的数学推理方式，它把观察到的一切告诉了人们。在自然界中没有什么东西是这个数学推理方式不能描述的。"玻尔则说："完备的物理解释应当绝对地高于数学形式体系。"

玻尔更着重于从哲学上考虑问题。1927年玻尔作了《量子公设和原子理论的新进展》的演讲，提出著名的互补原理。他指出，在物理理论中，平常大家总是认为可以不必干涉所研究的对象，就可以观测该对象，但从量子理论看来却不可能，因为对原子体系的任何观测，都将涉及所观测的对象在观测过程中已经有所改变，因此不可能有单一的定义，平常所谓的因果性不复存在。对经典理论来说是互相排斥的不同性质，在量子理论中却成了互相补充的一些侧面。波粒二象性正是互补性的一个重要表现。测不准原理和其他量子力学结论也可从这里得到解释。

7.3　核与粒子物理的发展简史

7.3.1　对射线研究——核物理的发端

真正吸引很多物理学家开始投身射线研究的是出于伦琴的偶然发现. 1895年11月，为了探明阴极射线的性质，伦琴(1845—1923)多次重复了赫兹等人作过的实验。1895年11月8日晚，为了防止外界对放电管的影响他用黑纸板把一个真空放电管密封起来。在接通电源之后，他惊奇地看到，放在近旁的一块涂有一种荧光物质铂氰酸钡盐的纸屏闪出了荧光。伦琴明白，阴极射线在空气中只能通过很短的距离，因而这必定是一种新的效应。为了试验这种新辐射的性质，他分别将纸牌、书本、铝片、铅块等放置在放电管和纸屏之间，观察到了不同程度的穿透。他将自己的手掌置放于其中而在纸屏上看到骨骼的影像。同时，他还发现了这种贯穿力很强的辐射能使用黑纸密封的照相底片感光。1985年12月底，伦琴提交了题为"一种新的射线"的报告，并且为这种新的辐射命名为"X射线"。

伦琴发现X射线多少有点偶然。但这种偶然只是发生在伦琴身上又有其必然性，伦

琴的特点首先是勤奋而专心地工作。他的助手谈到他的工作方法时说："当伦琴为自己确定一个研究题目时,他常常静悄悄地、人不知鬼不觉地开始工作,不让任何人触及他的工作和想法。"(阿伯拉罕·派斯著,关洪等译:基本粒子物理学史,武汉出版社,2002年)当他成功后有人问他你是怎么想的时?他说:"我没有想;我观察。"他在不断观察不断实验中捕捉到了偶然的事件。当然物理学家的目标又不仅仅局限于观察,伦琴"不属于那种思想如潮涌的人……他的力量在于另一种天才……不间断地对物理观察和测量的可靠性进行批评。"(阿伯拉罕·派斯著,关洪等译:基本粒子物理学史,武汉出版社,2002年)显然,只有一个有心的观察者碰到这种偶然事件时,才有可能利用这一机遇。当时有很多人进行着类似的研究,事实上在伦琴之前就有人看到了X射线的效应,但是没有引起注意而错过了发现的机会。

伦琴的结果发表之后,克鲁克斯才想起以前有一次放在阴极射线管旁边的密封的照相底片竟无缘无故地曝了光,而他当时只以为是底片质量有问题,甚至向生产厂家依尔福公司提出索赔。另一位英国物理学家斯密斯(F. Smith)也遇到过类似的情况,而他只是简单地吩咐助手,以后把底片放到安全的地方去。更有甚者,1880年哥耳德斯坦在一编正式发表的文章里就描述过,在真空放电管内,一块被挡住不受阴极直接照射的荧光屏,会由于阴极射线击中的玻璃壳区域上发出的一种直线行进的辐射而被激励发亮。这些现象竟逃过了那么多人的注意,没有谁想到这里面会有新的问题。由此可见,伦琴的发现决不是单靠运气。正像法国化学家马斯德(L. Pasteur,1822—1895)所讲:"在观察的领域内,机遇只对有准备的头脑才是有利的。"

伦琴的发现引起了轰动。国外许多知名杂志先后刊登他的论文,开尔文、彭加莱、斯托克斯等著名物理学家先后给他发来贺电。他成了中心人物。伦琴对这一切显得极不适应,他自己尽量回避公众的注意:"几天以后,我对整个事态真是讨厌极了。在各种各样的报导中,我的工作被弄得面目全非……"(阿伯拉罕·派斯著,关洪等译:基本粒子物理学史。武汉出版社,2002年)各国的实验室都在重复伦琴的工作,并且很快就在医学方面找到用途。那么,这种新奇的射线究竟是什么东西呢?当时人们分别猜想是红外,是以太中的旋涡,或者是经过"筛选"的阴极射线。而伦琴自己则一开始就倾向于认为,X射线就是人们寻觅已久的以太纵波辐射,因为它总沿直线行进,既不被电场和磁场所偏转,穿过不同介质时亦不受折射。

实际上,伦琴的发现公布之后,维谢尔特和斯托克斯就从X射线的发生方式,推断它是受到阴极射线撞击的玻璃壁上发出的波长很短的电磁辐射,由于频率很高而不受折射。1905年,巴克拉对X射线的偏振研究支持了这一看法。1912年,劳厄(M. Laue,1879—1960)用晶体点阵作为衍射光栅,证实了X射线的波长约为10^{-9}厘米,终于肯定了它是一种电磁波。

X射线的发现在科学界掀起了一阵狂热。1896年1月,在法国科学院的一次例会上,庞加莱介绍了伦琴的工作。当贝克勒耳在听完报告后同庞加莱的讨论中知道,X射线是从真空管玻璃壳上受到阴极射线撞击而产生荧光的区域发出来的,他马上萌生了一个想法,要弄清楚X射线是不是荧光物质所引起的振动的表现,以及是否所有荧光物质都会发出类似的射线。1月底,庞加莱在《大众科学杂志》上发表的一编介绍X射线的文章里,复述了贝克勒耳这一猜测,并且引起了大家的注意。

贝克勒耳的特点与伦琴有些相似，后人评价说："贝克勒耳对理论少有兴趣，他最有价值的特点是他那强大的坚持力，能修正错误，化险为夷。在他那罕见的、真正为证实一个理论假设而努力的过程中，这一近乎吹毛求疵的力量，终于不断地修正了他的狂热，并重新确定他的研究方向。"（阿伯拉罕·派斯著，关洪等译：基本粒子物理学史。武汉出版社，2002 年）有了想法后他马上动手试验，开始使用的几种荧光物质没有得出所希望的效果。他再换用硫酸铀铣钾，把这种荧光物质涂在包裹着照相底板的黑色厚纸外面，经过阳光曝晒之后，发现底片感光了。1896 年 2 月 24 日，贝克勒耳向法国科学院提交报告，以此作为荧光物质能在发出可见光的同时，也发出一种能穿透黑色厚纸的辐射的证据。看起来，他似乎找到 X 射线的另一个来源了。

不仅如此，贝克勒耳取得了进一步的研究结果，3 月 2 日又向科学院报告了一个出乎其意料的新发现，铀盐所发出的这种不可见的射线是同荧光现象完全无关的！原来，在这几天里，由于巴黎的天气不好，或者由于别的没有弄清楚的原因，贝克勒耳把准备好了而未经太阳光曝晒的样品里的底片冲洗出来，发现它也被感光了，贝克勒耳马上认识到，这是同荧光或磷光效应无关的，由铀盐本身发出的一种持久的新辐射。因此，这种辐射被称为"铀射线"或"贝克勒耳射线"。贝克勒耳接着还发现，象 X 射线一样，铀化合物发出的这种射线也会使得普通气压下的空气发生电离。

贝克勒耳的发现吸引了许多有能力的研究者。法国物理学家皮埃尔·居里（P. Curie, 1859—1906）和来自波兰的玛丽·居里（M. Curie, 1867—1934）夫妇就包括在其中。他们的学生后来回忆说："过去和现在都有许多科学家共同合作的范例，但从没有任何一对夫妻像他们那样在各自的领域内都是伟大的科学家。同样，无论在生活上和科学上，他们都相互尊重、爱护与支持，且保持各自独立的个性……他们的极度简朴、谦虚和对事业的奉献精神给我的印象最为深刻……他们从不炫耀他们的卓越智慧与成就……"（阿伯拉罕·派斯著，关洪等译：基本粒子物理学史。武汉出版社，2002 年）他们通过电离的测量，发现贝克勒耳射线的强度与铀的含量成正比。他们把有关这种辐射的现象称为"放射性"，并且通过普查，发现了已知元素钍的放射性。1898 年，居里夫妇经过艰苦的工作，又从含铀矿物里提炼出放射性比铀强几百万倍的新元素钋和镭。此后许多人继续开展认证这类天然放射性元素的工作。

7.3.2　原子核物理学的发展

既然放射性物质能够不断使照相底片感光和使气体电离，它就必定会输出能量。与此同时，也发现了贝克勒耳射线的热效应。而且，这些能量持续发出，好像是取之不竭似的。这么多的能量是从哪里来的？或者已经找到了能量无中生有的源，因此必须放弃能量守恒原理了？对这些问题曾经出现过不同的回答。

1898 年，居里夫人在与人合作发表的论文中提到："我们当中的一个人（玛丽·居里）已经证明了放射性是单个原子的特性"。这是历史上第一次明确地表明放射性与单个原子有关。（阿伯拉罕·派斯著，关洪等译：基本粒子物理学史。武汉出版社，2002 年）1899 年，贝克勒耳把放射性能量同磷光现象相比拟，认为可能存在着类似的能量贮存机制。不过，磷光效应持续时间很短，又会受到环境条件的影响，这又是与放射性现象有很大差别的。

1898年晚些时，当居里夫人发现元素钋时，它的强大放射性使问题变得更严重了。这时候她干脆说有可能是能量守恒定律失效了，亦即是说能量可以在放射性物质中创生。同年，克鲁克斯还提出，放射性现象可能是一种违背热力学第二定律的过程，放射性物质会因此而从周围空气中汲取能量。

为了检验放射性能量是否来自太阳，居里夫妇观察过铀的放射性的周日变化，得出否定的结果。在这方面值得提到的还有两位德国物理学家埃尔斯特(J. Elster, 1854—1920)和盖特耳(H. Geitel, 1855—1923)的工作。1898年，他们先把放射源放在真空容器中，后来又放到几百米深的矿井下做实验，都没有发现放射强度的变化。这样就排除了克鲁克斯和居里等认为放射性能量来自外部环境的可能性。再经过进一步的实验，埃尔斯特和盖特耳于1903年发表的另一编文章，得出射线能量来源于有关元素的原子本身的结论。

卢瑟福1898年发表了第一编关于贝克勒耳射线的研究成果，指出铀射线不是单一成分的，它至少含两种穿透能力不同的辐射，他把它们命名为α辐射和β辐射。贝克勒耳1899年发现，卢瑟福所说穿透能力较强的β辐射能被磁场偏转，而且偏转方向与阴极射线相同；进一步测量了其荷质比之后，证认了β射线就是高速运动的电子。

至于α射线，由于它的惯性较大，开始观察不到它的电磁偏转，所以被认为是电中性的。1903年，卢瑟福用强磁场实现了α射线的偏转，并肯定它带有正电荷，而且由测量到的荷质比，估计它是某种轻元素的原子。最后，卢瑟福和盖革于1908年终于确定，α粒子是失去了两个负电荷的氦离子。

1900年，法国物理学家维拉德(P. Villard, 1860—1934)从镭的辐射中发现了第三种也是高穿透性的射线，但不受磁场偏转。1903年，卢瑟福把它命名为γ射线。卢瑟福起先认为γ射线可能是一种很硬的β射线，后来则由于它不受强磁场偏转，而有利于被认为是一种波长很短的电磁辐射。1914年，卢瑟福等通过γ射线在晶体表面上的反射，测定了它的波长，终于确定了这一点。1899年，卢瑟福发现钍的放射性变化无常，在弄清楚这是由于室内气流的影响之后，他认为这表明了有某种物质逸出。卢瑟福从这一线索入手，收集到一种放射性气体，把它叫做钍射气，接着又分别发现了镭和锕放出来的镭射气和锕射气。后来知道，实际上这几种所谓射气都是一种最重要的放射性气体氡的同位素。在这一时期的研究中，W·H·布拉格也做出了一定贡献，这在前面关于他的文章中已经详细谈到，在此不再重复.

钍和镭等在发出三种放射性辐射的同时，竟然还产生着新的气体物质，这一结论完全违反了传统化学的基本原则。与此同时，以居里夫妇为首的一批法国科学家，虽然也观察到类似的现象，但却拒绝承认卢瑟福所发现的放射性气体，宁可看做是能量在空间中的积聚。

卢瑟福意识到下一步需要进行物质分析工作，他开始了与年轻的化学家索迪(1877—1956)的合作，两人利用指数衰减公式逐一分析放射出α、β或γ射线的过程，从错综复杂的现象里，初步整理出了实际过程发生的几条可能路线，即铀、钍和镭等元素的放射性谱系的雏形。1902年到1903年，卢瑟福和索迪提出了放射性嬗变学说，认为放射性物质由不稳定的原子组成，并以确定的衰变率放射α、β或γ射线而衰变。衰变后的原子可能成为另一种放射性元素，继续衰变，直到达到一种稳定元素为止。1913年索迪提出了同位素的概念。1919年卢瑟福用强α射线源照射氮，从而发现了氢核即质子，这是人类第一

次实现人工核反应,反应方程式为:$^{14}_{7}N+^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O+^{1}_{1}H$。

卢瑟福成功实现人工核反应后,科学家们又进行了用许多α射线轰击各种原子的实验。1932年1月约里奥·居里夫妇用α射线轰击铍时实际上已经打出了不带电的中子,但是他们误以为是不带电的γ射线,结果二人可谓与中子擦肩而过。查德威克(1891—1974)了解了这一问题经过实验,确信铍辐射是由质量约与质子相同的中性粒子组成的,从而成为中子的发现者。

7.3.3 核反应——裂变与聚变

发现了中子之后,人们热衷于用中子去轰击各种核素,希望能够再发现一些新的东西。因为中子不带电,对核不存在库仑斥力,因而比质子较容易接近和击中核而引起反应。1934年,费米(E. Fermi,1901—1954)首先在这方面进行一系列的研究,发现原子核吸收中子后,或者变成较重的同位素,或者变成原子序数增加1的元素,同时放出β粒子。

那么,如果用中子轰击铀核(Z=92),岂不是可以产生超铀元素了吗? 1934年,费米等做了这样的实验,并且从反应物中发现了几种放射性元素。费米断言,它们就是第93、94和95号元素,并且为它们命名为类铼、类锇等。

可是,后来弄清楚了,虽然用这种方法无疑有可能得到新的元素,但费米当时并没有能够分辨出来。事实上,第93号元素镎和94号元素钚是先后在1939年和1941年才被发现的,它们是最早在实验室里制造出来的超铀元素。费米是20世纪一位大物理学家,杨振宁先生曾说:"费米对于'什么是物理,什么不是物理'有一个很清楚的价值观念。他认为太多形式化的东西不是不可能出物理,只是出物理的可能性常常很小,因为它有闭门造车的危险。而跟实际接触的物理才是能够长期站得住脚的物理。我后来对于物理的价值观念是深深受到了费米的影响的。"而"费米的这种扎扎实实、脚踏实地的特点,正是他的基本成功之处。"

那么,原先被费米错认了的是些什么东西呢? 1938年到1939年,哈恩(O. Hahn,1879—1968)和迈特纳(L. Meitner,1878—1968)等在研究铀受中子照射的产物时,找到一种起初认为是镭的元素,后来又发现这种放射性元素的化学性质同钡元素无法区别。他们由此得出结论,它就是钡的原子序数为56的一种放射性同位素。这样一来,用中子照射铀的这种反应的结果只能是,铀核分裂成大小接近的两半(例如以上所讲的钡56和氪36,也可以是其他方式的分裂),哈恩和迈特纳确信铀可以产生镭,这就是核裂变的发现。

早在1905年,爱因斯坦在推导质能关系式的论文里就已经指出:"用那些所含能量是高度可变的物体(比如用镭盐)来验证这个理论,不是不可能成功的。"而当20年代质谱技术的发展测定了各种核素的结合能之后,人们就知道很重的核素转变为中等的核素时,将会放出巨大的能量。铀核裂变的发现,使人们开始找到了这种能量释放的一条可能的具体途径。

然而,按照以上的方式使铀发生裂变,首先要供给大量的中子,在能量上是得不偿失的。不过,1939年初,约里奥·居里等又发现了,铀核在裂变的同时会放出1到3个中子,这些中子又有可能用来引发别的铀核的裂变。1942年底,在费米的主持下,在美国芝加哥建成了第一个核反应堆,实现了可以控制的核能释放。不幸的是,物理学家们的这一杰作是专门为3年后爆炸成功的核武器做准备的。为了宣传上的效果,当有关的新闻在全

世界传播开来的时候,把这种能量形式称为"原子能"。

还要补充的是,1941 年弗列罗夫(G. N. Flerow,1913—)发现了铀核也存在着罕见的自发裂变,其半衰期长达 2×10^{15}年。这一结果一方面使人们了解到为什么铀是今天地球上还存在着的最重的元素,另一方面又保证了适当聚集的核燃料自发启动的可能性。

实现核能释放的另一条途径是核聚变,即最轻的几种核素相结合而成为较重的核素。例如,四个氢核聚合成一个氦核,就会放出可观的能量。为了使聚变易于进行,反应物质需要有极高的温度和密度条件,才能克服静电斥力而起反应,所以这种聚变又称为"热核反应"。

实际上,让四个氢核(即质子)碰到一起的机会是极小的。人工的热核反应常利用氢的同位素氘(D,即^2_1H),它所需要的聚变温度比氢要低,为了得到高温高密度的条件,最方便的就是由一颗裂变核弹(原子弹)引爆热核反应,这就是核武器(氢弹),它是于 1952 年首次试验成功的,可以控制的热核反应仍在研究之中。

7.3.4 新粒子的不断发现

在中子发现之前,核的 β 衰变能谱就出现了严重的解释困难。当一个粒子衰变成两个粒子时,根据能量守恒和动量守恒定律可以推知末态粒子的质心系能量和动量都具有确定的数值。β 衰变的产物只观察到末态核和 β 电子,那么电子就应当只以一种能量射出。然而,早在 1951 年,卢瑟福和查德威克就发现,β 电子的能谱呈现一片连续的分布。后来,精确的测量弄清楚了,β 电子的能量可以是从零到某一极大值之间的任何数值,而这一电子能量的最大值正好满足能量守恒的要求。卢瑟福等人认为,这意味着每个原子发出的 β 电子都具有观察到的极大值能量,后来经过别的过程损失了部分能量,最终观察到的不是原子发出的初级电子而是这些能量减小了的次级电子。

1923 年发现描述电子和光子的散射规律的康普顿效应之后,迈特纳和居里夫人等也认为,β 电子是在同光子散射之后丧失了能量的。为了检验孰是孰非,艾利斯(C. D. Ellis,1895—1980)和伍斯特(W. A. Wooster,1903—)两人设计了一个实验,运用一个量能器把所有产生的粒子(不论它们来自初级过程还是次级过程)收集起来。那么,如果初级电子的能量被次级过程重新分配的话,也能从收集到的总能量算出每次 β 衰变放出的平均能量应当等于观察到的电子能谱极大值。可是,1927 年他们的实验结果表明,量能器里得到的只是最后射出的电子能量,其平均值与连续谱分布相符,而看不到有所谓次级过程中放出来的其他能量。结论只能是,观察到的 β 电子就是核衰变放出的电子,并没有什么次级过程起作用的迹象。

这一切促使玻尔(N. Bohr,1885—1962)于 1929 年提出放弃能量守恒的观点。到 1932 年他还说:"在原子理论的现今阶段,我们既没有经验上的也没有理论上的论据,来支持 β 射线蜕变情况中的能量原理,而且当试图这样做的时候则会带来麻烦和困难……我要强调的是,在原子理论中,尽管已经取得了这么多新近的进展,我们还要准备更多的新的惊人事件。"这些言论也反映了,一部分物理学家认为,在原子核那么小的区域内,当时已经建立的量子力学的基本原理可能不再适用的想法;他们期望着会有更令人惊奇的新理论来解决这些问题。

玻尔的主张立即遭到了许多著名物理学家们的激烈反对。狄拉克表示:"我宁可不惜

任何代价来保持能量的严格守恒。"而泡利亦同玻尔展开了针锋相对的争论。1930 年，泡利提出，为了解决连续的 β 能谱问题，有可能存在一种电中性的粒子，具有自旋 1/2 并且其质量不超过质子的 1/100。泡利也把这种粒子称为中子(neutron)，假设在 β 衰变中的这种中子和电子同时发射而带走一部分能量的话，就可以解释观察到的由电子能量损失而形成的连续能谱分布。泡利的这一建议是很大胆的，因为这样的粒子是很难直接探测出来的。所以，他开始时只在私人信件里讨论这个问题，到 1931 年开始又在一些学术会议上报告过。

费米在 1933 年建立 β 衰变理论时，就采纳了泡利的想法。为了同刚发现的作为核组分的中子相区别，费米把泡利所建议的粒子改为中微子(neutrino)，在意大利语这一名词指小的中子的意思。按照费米的理论，在 β 衰变里，中微子总是和电子一起，在 β 衰变中产生的，因而它们都不是原子核里原有的成分。现在我们把基本的 β 衰变写成

$$n \to p + e^{-} + \tilde{\nu},$$

其中的 p 是质子，$\tilde{\nu}$ 就是反中微子即中微子的粒子。费米的理论可以导出与实验完全符合的 β 能谱形状，其中假设了中微子的自旋为 1/2 而质量为零。它是第一个成功的弱相互作用理论，而且是量子场论方法在粒子物理学中的首次应用。

1934 年，约里奥·居里夫妇用 α 射线照射铝-27，结果除了发现当时有中子产生之外，移去放射源之后，靶物质还继续发出正 β 射线，从而第一次获得人工放射性。这套反应过程是 $^{27}Al + ^{4}He \to ^{30}P + ^{1}n$ 和 $^{30}P \to ^{30}Si + e^{+} + \nu$

其中的磷 30 同位素的半衰期只有约 200 秒，因而在自然界中不可能单独存在。

同年，维克(G. C. Wick)指出，在费米理论的相互作用里，允许原子核里面发生如下反 β 衰变过程：$p \to n + e^{+} + \nu$。

约里奥·居里发现的磷 30 的衰变，就是这一基本过程的表现。此外，维克等根据费米理论还预言存在轨道电子的俘获过程：$p + e^{+} \to n + \nu$

1938 年这一预言结果由阿瓦雷兹(L. W. Alvarez, 1911—)观察到了。这些新的结果进一步证实了费米 β 衰变理论的正确性，而当初泡利只作为一个想法提出来的中微子假说亦被大家接受了。结果能量守恒定律又获得了一次新的胜利。

中微子由于没有电荷，它只参加上面所讲的那一类弱作用过程，因而穿透力极强。泡利认为他所设想的"中子"的穿透能力会比 γ 射线大 10 倍。事实上，后来才清楚，中微子可以几乎不受阻碍地穿过整个地球。因此捕获中微子十分困难。1941 年，我国物理学家王淦昌从贵州给美国《物理评论》寄去一编文稿，提出用上面所说的电子俘获过程去探测中微子的性质。因为这是一种二体反应过程，末态粒子具有确定的质心系能量，那么只要测量出末态核的反冲能量，便可以确定中微子的能量和质量。这编文章于 1942 年发表后，经过多次努力，终于在 1952 年，成功地进行了王淦昌建议的实验，确认了中微子的存在。

泡利是一个个性极强的物理大师。马赫是他的教父，他也很大程度上继承了马赫的敏锐的洞察力和犀利的批判风格，为人坦率，说话具有进攻性，即使对玻恩、玻尔也不留情面。但当时的许多物理学家都希望自己的工作能得到泡利的评判，大家相信他的眼光。海森堡是与泡利联系最多的物理学家之一，他的许多成果都是在和泡利的讨论中诞生的。泡利的性格也与许多物理学家不同，他喜欢大城市的夜生活、性感舞蹈表演和酒馆以及咖

啡馆。由于晚上到歌厅中游逛,他常常要睡到中午才能起床。这一习惯是他早年离开玻恩那里的主要原因,因为哥廷根是个小城市,而正如玻恩所说:"他受不了小城的生活。"在物理学家中,还有费恩曼与泡利有相同的爱好。

1928年,狄拉克建立了后来以他的姓氏命名的相对论性电子运动方程。这一方程描写电子具有的1/2自旋,但除了通常的正能解之外,还出现能量为负的解。狄拉克起先以为负能解是没有意义的,后来他运用泡利的不相容原理,提出"空穴"理论,把真空状态解释为填满了负能电子的"海"。那么,代表负能电子的缺失的空穴的行为,就表现为一个正能量的带电的粒子。本来从正负能解的对称性可以看出,空穴表现的质量应当与电子相同。可是,当时知道的带一个正电荷的粒子只有质子,而且海森堡和外尔(H. Weyl, 1885—1955)都表示过新理论应当同时描写电子和质子的看法,狄拉克便采取了"负能电子分布中的空穴乃是质子"的假设,宁愿相信两者之间的质量的巨大差别是由于别的原因引起的。狄拉克后来回忆说:"我恰恰在这一步没有勇气假设有一种新粒子,这是由于当时总的舆论倾向是反对新粒子的猜测的。"

1930年,美国物理学家奥本海默(R. Oppenheimer, 1904—1967)指出了狄拉克假设的困难。因为如果空穴代表质子的话,氢原子里的电子会很快落到空穴里湮灭,同时放出两个γ光子。奥本海默指出,这一过程会使得通常的物质只有10^{-10}秒的寿命。同年年底,外尔又指出,电子和质子在质量上的差别,将会破坏理论的基本对称性。于是,在受到这些批评以后,狄拉克于1931年5月终于改正了错误,宣称"一个空穴应当是一种在实验物理学里未发现的新粒子,它有与电子相同的质量和相反的电荷。"并且把这种新的粒子称为反电子。

事实上,在云室照片里很早就留下了反电子的踪迹。只不过以前因为想不到会有带正电荷的电子,所以把这些反向弯曲的径迹误认为属于反向行进的负电子。1932年,安德森(C. D. Anderson, 1905—)在云室中间插进一块薄铅片,由速度减慢的方向确认了在宇宙线中存在着带一个正电荷的粒子,其质量与负电子接近。安德森把它命名为正电子(positron)。这种正电子无疑是电子的反粒子。即狄拉克的反电子。它也是第一次发现的反粒子。狄拉克是一个不爱讲话的人。据说有一次他去一个著名的学校演讲,演讲结束后有一个学生站起来说:"刚才您在黑板上写的那个方程我不懂。"狄拉克没有回答,好长时间后主持人提醒他要回答问题时狄拉克说:"那不是一个问题。"从幽默的角度看,现在最"酷"的年轻人与狄拉克相比都会黯然失色。

杨振宁先生说:"狄拉克对问题的认识常常能正中要害。这是狄拉克一生中工作的最重要的特点。……你看狄拉克的文章,就会有这种秋水文章不染尘的感觉。他的文章没有一点渣子。你跟着他走总觉得妙不可言,而且最后得出的是没有人能预先想象得到的东西。"

电子和正电子,中微子和反中微子是两对正反粒子,它们不参加强相互作用,但参加象β衰变那样的弱相互作用。因为起先发现的这类粒子的质量都比较小,因而命名为轻子(lepton)。

典型的强相互作用是核力,从原子核的构造了解到,核力是一种短程力,它的力程只使相邻的核子(质子和中子的统称)受到影响。

1935年,汤川秀树(H. Yukawa, 1907—1981)认为核力是通过一种介子场而起作用

的。两个核子通过交换介子而发生相互作用，就像两个电荷通过交换光子——电磁场的量子而发生相互作用一样。汤川认识到，核力的短程性意味着介子是有质量的，而在长程的电磁力情况下，作为媒介的光子是无质量的。通过对点源的相对论介子方程求解，汤川算出力程 r_0 同介子质量 m 之间有关系 $r_0 \approx h/(mc)$，其中 h 是普朗克常数，c 是光速。他当时了解到的核力力程约等于 2×10^{-13}厘米，推算出介子的质量大概是 200 倍电子质量。玻尔正好在那一段时间到日本访问。据说，汤川同他讨论过有关介子的问题，玻尔很不以为然，反问汤川为什么要做这样的工作。这反映了玻尔一贯不喜欢引进新粒子的态度。

1937 年，安德森又在宇宙线中发现了质量约为 200 倍电子质量的粒子，当时以为它就是汤川所预言的介子，因此命名为 μ 介子。可是，后来弄清楚了，μ 介子并没有表现出原来预期的那种强相互作用。为了解决这一困难，坂田昌一(S. Sakata，1911—1970)等于 1943 年提出"二介子理论"，认为传递核力的不是 μ 介子，而是另一种未发现的粒子。1947 年，鲍威尔(C. F. Powell，1903—1969)用核乳胶探测到宇宙线中有一种比 μ 介子质量稍大的粒子，命名为 π 介子。很快就证实了，π 介子的确就是汤川所预言的那种作为核力媒介的粒子。这样，在强作用里也消除了超距作用，证明了媒介场的存在。与此同时，发现 μ 介子不过是一种与电子相似而质量较大的轻子，于是不再把它叫做介子而简单地称之为 μ 子(muon)。

β 衰变或弱相互作用的费米理论原先是一种直接的点相互作用。后来在理论上认为存在着作为弱作用媒介场的"中间玻色子"，并且运用它们来建立了富于成果的理论模型，由于弱作用的力程比强作用更短，估计这些中间玻色子的质量很大，甚至大到未必可以作为自由粒子而被观察到。这种情况有点像 18 世纪许多物理学家对原子的看法，当时也认为原子只是一种计算工具而未必是真正的实在。

由于加速器能量的提高和实验技术的进步，1983 年，终于由鲁比亚等发现了中间玻色子的单独衰变。并且，这些命名为 W 和 Z 的粒子不再只是"中间"的粒子了，现在把它们统称为弱玻色子。它们的质量接近于质子质量的 100 倍，是目前已发现的最大质量的粒子。

三种基本的相互作用——强作用、电磁作用和弱作用，都已被证明为通过交换中介粒子而发生作用的了。物理学家相信，引力作用也应该同样是靠交换粒子(引力子)而实现的。但一直没有发现引力子的存在证据。粒子物理发展过程中，几乎每个新粒子的发现过程都生动地展示着实验、假说与理论三者交互推动的关系：实验→假说→实验→理论→实验→假说→……

7.3.5 守恒定律在粒子物理中的作用

在量子理论发展的早期，1924 年，玻尔、克拉默斯(H. A. Kramers，1894—1952)和斯莱特(J. C. Slater，1900—1976)发表了文章《辐射的量子理论》，试图在全新的基础上解决色散等问题。在这编文章里他们认为，在量子跃迁里能量守恒和因果性定律都只在对大量过程的统计意义上成立，而对单个微观过程是无效的。事实上，到那时为止，无论是放射性的指数衰减律，还是康普顿(A. H. Compton，1892—1962)对电子-光子散射过程的初步研究，都只是对大量测量计数的统计结果，还不存在对个别微观过程中能量和动量满足

守恒定律的任何实验证据。1925年康普顿证实了在个别散射事件中能量和动量守恒定律仍然成立之后,玻尔的假设才被证明为错误的。在这时期开始建立的关于原子过程的量子力学理论,就运用了每一过程的能量和动量守恒。

在1930年前后,当深入到原子核内部的过程的时候,玻尔又一次主张,在个别β衰变过程中要放弃能量原理。后来又弄清楚了是中微子把一部分能量带走了,而能量守恒定律仍是严格成立的。

纵观这几个回合的争论,坚持能量守恒的那一派又总是胜利者,他们总可以找到新的能量形式或者新的粒子等等证据,维护了能量守恒原理的权威。

每一条守恒定律都同一定的对称性或不变性相联系。例如,能量和动量守恒定律就反映了时间和空间平移不变性的要求。从β衰变的例子还可以看出,放弃能量守恒则不必引入新的粒子,而坚持能量守恒则必须引进新粒子。这一结论是普遍适用的,守恒律或对称性愈是严格,要求的粒子种类就愈多。反之,守恒律或对称性一旦破坏,就不需要那么多新的粒子。

这种情况在20世纪50年代初期显得比较突出。当时,继π介子发现之后,又像雨后春笋那样找到了许多"奇异粒子"。其中有两种分别命名为θ和τ的奇异介子,它们除了描写空间反演对称性的宇称相反之外,其他方面都具有相同的性质。那么,如果坚持宇称守恒的话,θ和τ必须认为是两种不同的粒子,但若放弃宇称守恒,它们就可以认为是同一种粒子的两种表现。这正是1956年杨振宁和李政道关于弱作用中宇称不守恒的理论所解决的问题之一。

继弱相互作用的宇称不守恒发现之后,又找到了满足时间反演守恒的个别过程。现在普遍认为严格守恒的有能量、动量、角动量和电荷等等,不大会有人再像玻尔那样随便对能量守恒定律提出怀疑。

对称性的概念不限于普通空间中的变换不变法,而可以发展到粒子的"内部对称性"。早在中子发现之初,海森堡就从中子和质子在核力表现上的相似性,引入核子的同位旋概念。同位旋可以看做是普通空间的角动量推广到电荷空间的一种类似,中子和质子就这样看成同一同位旋双重态的两个不同分量。众多的奇异粒子发现之后,同位旋的应用也取得了广泛的进展。

在同位旋概念的基础上,在20世纪50年代,坂田昌一发展了一种包括奇异粒子在内的内部对称性模型,第一次提出了满足SU(3)群不变性的基本粒子超多重态概念。SU(3)群的变换即三维幺模幺正变换,它是描写同位旋的二维SU(2)变换的一种推广。

但是,坂田模型的具体方案并不合理。到了20世纪60年代初,盖尔曼(M. Gell-Mann,1929—)提出"八重法",才使这种对称性理论得到真正的进展。按照这种对称性原理,在通常空间里具有相同性质的一些粒子,必定按SU(3)群的某个不可约表示的形式出现,这些表示一般是多维的,亦即是说,粒子一般是成批出现的。举一可以反三,根据已知的一些粒子的性质可以预言其他尚未发现的粒子,还可以统一地描写这一组粒子同另一组粒子之间的相互作用。

1964年,这种方案取得成功之后,人们开始进一步考虑,像元素周期表的排列由原子的电子壳结构决定一样,基本粒子表现的这种对称性是否意味着有更深一层的内部结构。盖尔曼把这些组成基本粒子(轻子和光子除外)的砖石称为夸克(quark),我国则称为层

子。它们是一组三个的未发现粒子。进一步的研究发现,为了保证夸克有适当的全同粒子对称性,必须假设有另外的红、绿、蓝三维的颜色自由度。虽然我们观察到的都是组合成白色的粒子,但强作用的机制却是在这个三维的颜色空间里实现的,由此产生了一门描写强相互作用的量子色动力学。当然,这里的"颜色"只是前面讲的真实颜色概念的借用,并不是指粒子真的有各种不同的色彩。1974 年,物理学家发现了粲夸克。1984 年欧洲核子中心发现了顶夸克的痕迹。1994 年费米实验室的研究人员首次观察到了顶夸克的实验证据并测定了其质量,是质子质量的 180 多倍。

夸克模型不仅使基本粒子强相互作用的研究取得了进展。1974 年,萨拉姆(A. Salam,1962—)和维因伯(S. Weinberg,1933—)又在夸克假设和中间玻色子方法的基础上,运用规范场理论,建立了把电磁作用和弱作用统一起来的"弱电统一模型",并且不久就得到实验工作的明确支持,并且成为一种"标准模型"。

然而,随着实验上发现的粒子种类不断增长,夸克的数目已经从原来的三种增加到了六种,但是自由的夸克还没有观察到,这就使理论家们大伤脑筋,想方设法说明它们为什么被"囚禁"在粒子内部走不出来。另一方面,三十年来对称性方法在粒子理论上的成功,使得各种运用更高级更复杂的对称性的统一理论应运而生,层出不穷。更有甚者的是,虽然还没有观察到自由夸克,但已经有些理论家开始研究"亚夸克"问题,即研究夸克的组成了。以上这些方面的研究,大概可以代表人们对物质的相互作用及其结构进行探索所达到的阶段。

不难看出,物理学家们的思想有了很大的改变。过去他们认为,物质结构的基本单元是研究的出发点,不允许随意假设未知的粒子,而守恒定律则不大受尊重。因为,按照牛顿力学的做法,守恒律不过是从动力学方程推导出来的产物,处于从属的地位。

与这种认识不同,现代物理学家认为,在新的动力学还未建立以前,只有守恒律和对称性才是指导我们建立新的动力学方程和确定相互作用形式的原则,如果失去了这些准则,将会给我们带来极大的困难。甚至还有一种更富于启发性的观点,认为动力学是从对称性产生出来的,把守恒律和对称性放到了前所未有的崇高地位。也就是说,在今天的物理学家看来,"物理学各个领域里有那么多定理、定律和法则,但他们的地位并不是平等的,而是有层次的。例如,力学中的胡克定律,热学中的物态方程,电学中的欧姆定律,都是经验性的,仅适用于一定的物料,一定的参量范围。这些是较低层次的规律。统帅整个经典力学的是牛顿定律,统帅整个电磁学的是麦克斯韦方程,它们都是物理学中整整一个领域中的基本规律,层次要高得多。超过了弹性限度胡克定律不成立,牛顿定律仍有效;对于晶体管,欧姆定律不适用,麦克斯韦方程组仍成立。是否还有凌驾于这些基本规律之上更高层次的法则?是的,对称性原理就是这样的法则,由时空对称性导出的能量、动量等守恒定律,也是跨越物理学各个领域的普遍法则。这就是为什么在不涉及一些具体定律之前,我们往往有可能根据对称性原理和守恒定律做出一些定性的判断,得到一些有用的信息。这些法则不仅不会与已知领域里的具体定律相悖,还能指导我们去探索未知的领域。当代理论物理学家(特别是粒子物理学家),正高度自觉地运用对称性法则和与之相应的守恒律,去寻求物质结构更深层次的奥秘。"(赵凯华、罗蔚茵:《新概念物理教程·力学》,高等教育出版社,1995 年,153)。

自然界是复杂的,各种对称性,特别是各种内部对称性,并不都是严格成立的。例如,

中子和质子除了电荷不一样以外,质量和磁矩等亦有差别。所以,对称性部分不成立、即对称性破缺的情况时有发生。

核与粒子物理发展到今天,许多优秀的物理学家都将他们的聪明才智奉献给了这一领域,应该说我们已经取得了许多成就,但是距离彻底揭开微观世界奥秘的目标还很远很远。比如,关于核模型,已有费米的气体模型、玻尔的液滴模型、迈耶夫人的壳层模型以及A·玻尔等提出的集体模型等等,但是,对原子核的运动现象至今有不少还不能做出很好的解释。

第八章　明天的物理学

物理学是自然科学的基础,同时又是自然科学发展的前沿。物理学自诞生以来就具有两方面的基本作用:在精神上,它极大地满足了人们的求知欲,物理学帮助人们越来越深入地认识了自然界;在物质上,它有力地服务、造福于我们人类。

但是,今天我们才意识到,人们关于物理学的一些认识还未必正确,一些结论未免过早。在物理学轰轰烈烈走过了几个高潮之后,产生了一种倾向,一些人士开始了关于物理学的反思:物理学在悠久的人类历史长河中的几百年究竟起了什么作用? 物理学所应用的方法对自然界是真的行之有效么? 明天,未来的物理学会是怎样?

本书作者持积极乐观态度,坚信在未来的21世纪,物理学将不改初衷:

(1) 继续满足人们不断增长的求知欲望,前沿不断发展,失误不断被纠正,而且人们将通过物理学加深对人类自身的认识;

(2) 一如既往地满足人们物质上的需要将仍是物理学的主要目标。这也是物理学历尽沧桑而不断得以存在并发展的决定性因素。也正因此我们预言:应用物理在未来的物理学中将前所未有地起主导作用。与以往不同的是在未来的应用物理中,理论的探索将占更大的成分,具体而言之:

① 物理学。60%~80%的理论探讨将围绕理论的应用展开,将集中探讨"理想化"的理论如何回归现实世界,以及检查"理想化"的理论是否背离了现实的轨道。

事实上,在一定意义上物理学研究的对象一直是理想的模型。这在一定阶段具有绝对进步的意义。但理想模型的建立过程即对现实世界的抽象处理过程因过分简单化难免使模型与现实对应物之间有了本质区别。这一点对物理学的影响是深重的。今天,我们已经有了关于实物的、关于场的、关于平衡态的、关于非平衡态的、关于线性的、关于非线性的物理理论。但是在每一领域的理论应用于现实时,仍会遇见巨大的困难,有时甚至会出现不可解的问题。笔者认为,这原因之一就是由于在"理想化"处理、抽象研究建立理论过程中隐匿了错误。在物理学中,甚至在过去的所有科学技术中,几乎处处离不开近似处理,"四舍五入"成了一条科学成语。但是就在这种近似处理中,物理学曾轻易地忽略掉了混沌理论。该理论承认"蝴蝶效应":今天有一只蝴蝶在北京扇动翅膀就有可能在下个月引起纽约的一场风暴。这在只具备传统物理思想的人看来是不可思议的。

在未来对物理学既有的理论和方法的检验中,也许会发现许多错误,从而建立一系列新理论。

② 未来物理学最尖端的环节之一是材料物理学。一方面科技越先进,对各种仪器、设备的各项指标的要求就越高,而要达到这一要求在很大程度上取决于材料的性能;另一方面,一些新技术的诞生完全是由于新材料的发明及材料新性能的发现,具有了良好材料才能使器材的"硬件"真正"硬"起来。

高科技的发展和应用能促进生产力的飞跃,高科技是国家、企业竞争制胜的制高点。所谓高科技主要包括:信息技术、自动化技术、航天技术等等。而其中信息技术的基础技

术主要就是新材料技术新能源技术。可以说没有新材料的不断问世就不会有高科技的健康发展。新材料的神奇作用有时是难以预料的。下列事实能充分说明这一点。

科学家预言在不久的将来光计算机将取代电子计算机,如同晶体管取代电子管一样。光计算机一秒钟可以进行一万亿次的逻辑运算,其存储器的存储量将提高几万亿倍。这一切都是电子计算机远远望尘莫及的。使这种"神话"得以成真的关键是找到可以取代晶体管的新材料。如今研究已初步成功。新材料是一种特殊的晶体,照射到它上面的光束,强度发生一点变化,透过去的光将发生很大变化,即它对光有放大作用。

有一种新材料叫功能陶瓷,具有光、声、热和电磁学等多种功能相互转换的特性。这种材料在信息工程中大显神通,得到了广泛的应用。同样,已被大家熟悉的不再神奇的"形状记忆"镍钛合金,在航空中也有了特殊的应用,显示出了巨大的优越性。

③ 能源问题将是未来物理必须解决的难题。新能源的开发成败关系着人类的存亡。化石能源之枯竭是人类在不久的将来必须面队的现实。虽然人们对新能源的开发研究早已开始,但目前还没有任何一种新型能源足以完全取代生活中化石能源的地位。地热能、水能、风能、原子能、太阳能等的科学利用方法仍必须投人大气力去研究。

④ 在生命科学领域物理学将有更深人更广泛的渗透。在已往的岁月里,物理学家曾对生命科学的发展做出了卓越的贡献。薛定谔为解释生命现象而提出的负熵概念已广泛地被生物学家采纳。受薛定谔影响而半途改弦易辙的沃森和克里克确定了 DNA 模型,成为当时生物界最出色的研究者。玻尔也十分热衷于生命现象,他先后写过《光和生命》、《生物学和原子物理学》、《物理科学和生命问题》以及《再论光和生命》等论文。普里高津用耗散结构理论解决了热力学第二定律与达尔文进化论的冲突。协同学、混沌学等将成为未来生命科学某些领域的主要理论工具。基因工程、细胞工程已成为生物高科技主要内容,在这些微观领域,离开物理学理论的指导和精密物理设备将寸步难行。关于脑的研究已形成一门新学科——脑物理学。

中国的物理直到今天在一些领域还处于落后的地位。但我们中国人自己已凭事实说明了自己具有高度的物理智慧。过去我们起步晚,主要是向人家学。但在 70～80 年代以来一些新学科相继出现,应该说我们具有与他人平等的机会,如耗散结构论、协同学、分形物理学、非线性混沌理论等。协同学创立者哈肯说过:"我认为协同学和中国古代思想在整体性观念上有很深的联系。"耗散结构理论提出者普律高津也说过类似的话。然而,没有一位新领域的开山鼻祖是我们中国的物理学家。这对那些仍然盲目偏执地认为强调整体的中国科学思想(实际上这是极不全面的看法)还会再次导致科学复兴的人们是一个辛辣的讽刺。造成这一状况的原因是复杂的多方面的。笔者认为主要与我们的意识有关。我们的科学家多是亦步亦趋地跟在别人的后面走,缺乏超前意识,自己感受不到物理学以及科学的其他领域发展的内在节奏、规律与趋势。这极大地阻碍了物理学家个人创造力的发挥,也自然妨碍了中国物理发展,影响中国物理的世界地位。

但愿我们的展望能引起物理界同仁尤其是那些凭实力已跻身世界一流行列的大家们的共鸣。果如此,我们将无比欣慰。

以上是本书作者 1996 年发表于《现代物理知识》上的一编科普文章。在物理学的历史上曾有很多人在不同的时代对物理学的发展做过预言。事实上有的历史人物真不愧被称为预言家:达·芬奇的一些天才预言设想已为我们熟知,英国人赫伯特·乔治·威尔斯

(1866—1946)预言了太空飞行时代的来临并表示了对人们是否能明智地利用科学的担忧,而英国人莱昂·巴格瑞特于20世纪60年代就预言了今天计算机的几乎全部主要功能。然而与这些成功的预言截然不同的是几乎历史上关于物理学未来的预言都以失败而终。最为大家所熟悉的是著名物理学家开尔文于1899年除夕之夜在新年贺词中的预言:物理学的大厦已经建成,今后物理学家的任务只是修饰和完美这所大厦。今天我们再重温这一预言不难想象,当时的开尔文该是多么的心情舒畅踌躇满志啊。然而这种好心情实在称得上只是昙花一现。1900年普朗克即提出了能量量子化假说粉碎了经典物理自然过程没有飞跃的信条;1905年名不见经传的爱因斯坦就革命性地完成了狭义相对论……

20世纪物理学的辉煌实在令物理界留恋与神往,而这一切辉煌几乎是随着这个新世纪的光临而接踵而来的。因此在21世纪翘首可待之际,许多物理人又纷纷做出预言。这与其说是预言不如说是良好的期盼,期盼新世纪能给物理学再次带来新的辉煌。

1997年第9期《物理通报》发表了李政道先生的文章:《21世纪物理科学的发展前景》。李先生认为,21世纪物理学的主要任务是:"激发真空、微观和宏观的物理的结合、制造像宇宙开始的状态,了解暗物质,了解类星体的能源,了解CP不对称的原理。"

1997年第12期《物理教师》发表了物理学史专家、首都师大申先甲教授的文章,"对下一个世纪最初二三十年的发展趋势作'豹斑之窥'":"可以相信,在科学技术整体发展的推动下,物理学仍将朝着各分支学科不断深人而整体领域综合交叉的整体化方向发展。物理学作为精密科学的典范,并以其探索视野的广阔性,研究层次的广谱性,理论适用的广泛性,在今后很长时间内仍将发挥其中心科学和基础科学的作用。它仍将不断地推出新思想、新原理和新方法,孕育出功能奇特、威力巨大的新技术,成为高新技术和新兴产业部门的喷发源泉和生长点,充当科学技术革命深人发展的主旋律。"

如果从物理学内史的角度,仔细分析一下物理学过去的发展过程,应该说还是不难看出物理学发展所呈现出的一定的规律性。对这种规律的研究有助于我们判断物理学发展的新生长点的可能所在。经典力学、热学、几何光学、电磁学理论的完成已经体现出一定的先后顺序,每个领域内部的发展情况也大致体现出了循序渐进的趋势。这是与人们探索自然奥秘的认识论规律相一致的。以这些为基础力学与热学的结合产生了统计物理学;力学与电磁学的结合产生了狭义相对论;狭义相对论再与力学(万有引力定律)的结合产生广义相对论;热学与电磁学的结合产生量子力学。按此模式狭义相对论与量子力学结合又产生了还不完善的相对论量子力学……从另一个角度看物理学由静态到动态、由离散到连续、再由连续到离散、由低速到高速、由宏观到微观、由平衡态到非平衡态、由线性到非线性、由有序到混沌的发展趋势告诉我们,物理学的发展至少在"逻辑空间"是遵守"各态历经假说"的:在"逻辑空间"不存在禁止科学理论进入的空白区域。

人们的求知欲和社会发展的需要也不允许这样的未知的科学理论的空白空间的存在。物理学真正的进展或大飞跃必须建立在对新的"逻辑空间"的革命性开拓基础之上,因循老路不是重复就是照虎画猫,很难走出原地踏步的怪圈。如此看来李政道先生关于21世纪的物理学将实现微观与宏观的结合的预言,从逻辑角度看也是很有道理的,是符合物理学过去的发展规律的。事实上,介观物理学、纳米物理学就应该属于这一范畴。而鉴于截止到20世纪物理学所达到的理论及方法上的空前成就,申教授的预言也同样是值

得信赖并给人以鼓舞的。然而过去在粒子或高能物理等领域已经出现的令人感到疲倦的缓慢发展态势难免让人怀疑,这种直线式的想将一条道进行到底的研究方向在一定的时间段是否还有光明前途。物理学已经是一门体系严谨比较完备的学科,要精通这门学科不是一件容易的事情。虽然如此,精通这门学科也只是能对其进一步发展作出贡献的一个必要条件。要做一个物理科学的革新家,还必须具备特殊的精神气质。贝弗里奇认为研究人员与开拓者需要相同的的品格:极强的事业心和进取心;随时准备以自己的才智迎击并战胜困难的精神状态;冒险精神;对现有知识和流行观念的不满足,以及急于试验自己判断力的迫切心情。研究人员最基本的两条品格就是对科学的热爱和难以满足的好奇心。而聪明、内在干劲、勤奋以及坚忍不拔的精神和丰富的想像力也是科研成功的重要条件。安德森和泰罗将现代的科学技术研究人员的能力和心理特点归纳为:突出的干劲、热情、勇气;沉着;诚实,正直;有较强的搜集整理的能力;有毅力,做事专心致志;有较强的协作能力;具有主动性,直率;具有一定的交际能力;勤奋、机智具有独创性;有较敏锐的直觉;有弄清事实、规律的渴望;具备一定的实验能力;具备迅速吸收知识的能力;有善于克服旧思想习惯的能力;有韧性,能适应新事物;具有扬弃非本质东西的判断能力;能从整体上全面看待问题;既具有分析能力又具备综合能力;有独立性和极强的怀疑精神,能够和敢于提出自己的创见;不修边幅;具有得到发展、获得再生的渴望;具有发挥自己才能的强烈渴望;具备善于发现问题的能力。可见要成为一个能够在物理学领域做出巨大贡献的人,有许多非知识因素需要培养。有些方面是学校教育比较忽视的,所以教育思想必须有所改变,每个有志于成为物理学家甚至物理学大师的人不仅要学习成功的物理学家们的工作方法,还应该有意识地对他们内在的宝贵的心理、性格等品质进行有目的地学习和研究。这实际上就是要学习物理文化的精髓。

不同的人出自不同的知识、学养,从不同的角度出发作出的预言不可能完全相同,时间是最可靠的证明大师,让我们满怀希望拭目以待。几年过去了,重温 1996 年的文字,本书作者不变并更加强烈的一种感觉是,在未来的日子里,环境恶化、资源匮乏等人类无法回避的对人类生存状况构成威胁的现实问题也必然是物理学及物理学家们必须首要面对的,成功与否,直接关系人类的生存与灭亡。这不是杞人忧天也并非耸人听闻。今天的人类对自然的影响,不亚于中国古代神话传说中共工氏撞不周山的后果,更加可怕的是许多主宰世界的大国小国的政客们热衷的仍是他们的权利和财富,为此他们可以不顾民众生死而一味腐化享乐,为此他们更可以草菅人命发动战争。如今的人类缺乏大禹那样为救万民于水火三过家门而不入的王者,更缺乏女娲那样不畏劳苦肯为民炼石补天的政治家。所有有良知的物理学家、所有有良知的科学家、所有有志爱民的政治家任重道远,他们是人类未来的希望,当然,民众的进步与觉醒是一个先决条件。